WIADOMOŚCI TECHNICZNO-ARTYLERYJSKIE

Nr. 2.

LIPIEC — 1929 R.

TREŚĆ:

SOMMAIRE:

UWAGA: Liczby, umieszczone nad tytułami poszczególnych artykułów w tekście oznaczają symbole klasyfikacji dziesiętnej.

531.55(623.52).

Mjr. SZTARK WITOLD.

ROZWAŻANIA NAD WZOREM $p = \frac{F}{D}$, SŁUŻĄCYM DO OBLICZANIA ROZWARCIA (PARALAKSY).

(DOKOŃCZENIE).

CZĘŚĆ II.

Rozdział 5. Wzór ogólny, uwzględniający pochylenie *F* względem *D*.

W części pierwszej niniejszej pracy zbadaliśmy tylko wzór zasadniczy

$$p = \frac{F}{D} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

który jednak nie jest ogólnym wzorem do obliczenia rozwarcia. Istotnie, udowodniliśmy go w założeniu, iż *F* jest prostopadłe do *D* a więc dla wypadku poszczególnego. Najczęściej odcinek *F* nie jest prostopadły ani do *OC* ani do *OB* i tworzy z nimi kąty ostre lub rozwarte (rys. 6). Bezpośrednie stosowanie wz. (6) dałoby w takim razie wynik, obarczony znacznym nieraz błędem. Tak np. w podanym na rysunku wypadku rozwarcie obliczone z tego wzoru wynosi:

$$p_o = \frac{BC}{OC}$$

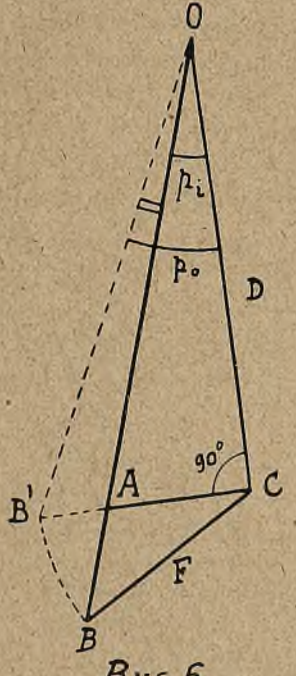
i, jak widać z rysunku, byłoby za duże o kąt

$$\sphericalangle AOE = p_o - p_i$$

Wystawmy z C prostopadłą AC do przecięcia się z BO. Wówczas rozwarcie w myśl wz. (6)

$$p = \frac{AC}{D}$$

Jeżeli więc AC będzie zmierzone bezpośrednio w terenie (z mapy, krokami i t. p.), to oceniwszy odległość D, łatwo będzie stosując



Rys. 6.

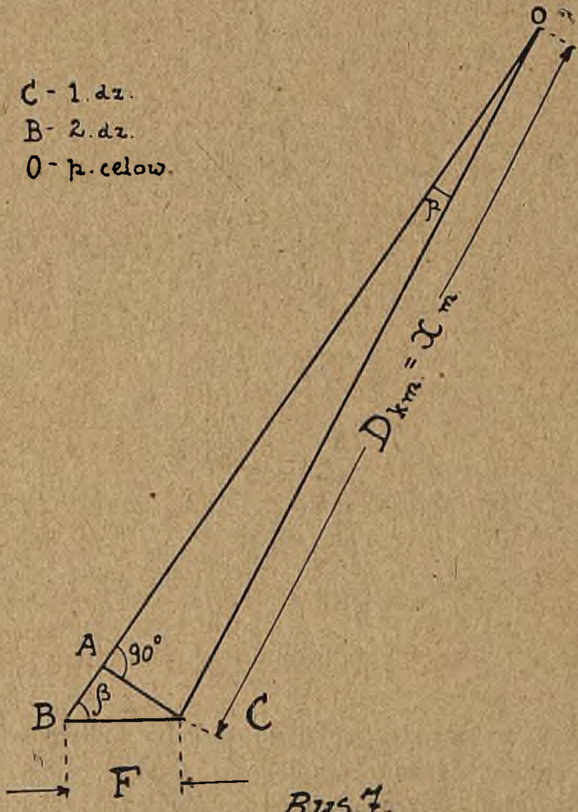
wzór (6) obliczyć rozwarcie, pomijając pomiar odległości F. Z doświadczenia wynika, iż taki pomiar AC jest częstokroć możliwy, a zatem można wtedy bezpośrednio stosować wz. (6) do obliczania rozwarcia.

Czasami jednak zdarza się iż wyznaczyć AC nie podobna, a $BC = F$ jest ocenić łatwo i mamy przytem możność dokładnego pomiaru kąta nachylenia BC względem OC. Zachodzi to wówczas gdy z p. C widać p. B i O. Ażeby móc stosować w tym wypadku wzór (6) musimy go przekształcić tak, aby uwzględniał pochylenie odcinka F.

Zastanówmy się przedewszystkiem nad tem, kiedy w praktyce polowej obliczamy rozwarcie. Aczkolwiek tych zastosowań jest

bardzo wiele, to jednak można je podzielić na dwa zasadnicze rodzaje:

1) „zastosowanie pierwszego rodzaju“ — obliczanie rozwarcia przy układaniu lub dostosowaniu snopa;
2) „zastosowanie drugiego rodzaju“ — obliczanie rozwarcia przy skierowaniu baterji na dozór, gdy warunki terenowe nie pozwalają na użycie sposobów prostszych [29]).



Rys. 7.

[29]) Pomijamy zupełnie w cz. II niniejszej pracy zastosowanie wzoru rozwarcia do obliczania kąta położenia celu (w przygotowaniu pobieżnem), ponieważ w tym wypadku *F* (różnica poziomu baterji i celu) jest prostopadłe do *D* (odległ. top. do celu); zatem stosuje się wzór $p = \frac{F}{D}$ którego teorję powyżej szczegółowo rozpatrzyliśmy. W przygotowaniu dokładnem unika się zupełnie tego wzoru przy obliczaniu kąta położenia, albo stosując wzór dokładny $tgp = \frac{F}{x}$ albo najczęściej korzystając z tabel I i II (tab. strzeln. 75 m/m); II i III (tab. strzel. 155 m/m i 120 m/m).

Do drugiego rodzaju można zaliczyć także obliczanie rozwarcia przy „przyjmowaniu" przez dowódców baterуj celów, wskazanych przez dowódcę dywizjonu (gdy ich punkty obserwacyjne są oddalone), jak również przy przeliczaniu kierunku, wstrzelanego przez jedną baterję dla innej sąsiedniej (gdy dywizjon działa razem ([30]). Tutaj więc stosować będziemy często jak w jednej baterji tak i między baterjami (p. obs.) dyonu t. zw. „poprawkę stanowiska"—obliczając dwukrotnie rozwarcie za każdym razem [31]).

Rozpatrzmy przedewszystkiem pierwszy rodzaj zastosowań wzoru (6).

Niech (rys. 7) będzie: C i B — odpowiednio stanowiskami dział 1 i 2 (słupy kątomierzy). Zatem $BC = F$ metrów jest odstępem. Niech O — będzie punktem celowania, odległość do którego ze stanowiska działa 1 wynosi

$$OC = x \text{ metrów} = D \text{ kilometrów}.$$

Szukamy rozwarcia $BOC = p$ t. j. „równoległości plutonu". Przypuśćmy, iż zmierzono kątomierzem działa drugiego kąt $\beta = OBC$. Z trójkąta BOC mamy:

$$\frac{F}{x} = \frac{\sin p}{\sin \beta}$$

skąd

$$\sin p = \frac{F}{x} \sin \beta \qquad (81)$$

gdzie jak F tak x — są wyrażone w metrach.

Przypuśćmy teraz, iż kątomierzem działa 1 zmierzono kąt β (rys. 8), a odległość $D\,km = x$ metrów od 2 działa do punktu celowania jest znana, wówczas uzyskamy ponownie wz. (81). Istotnie, niech B, A — są odpowiednio stanowiska dział 1 i 2. Wówczas z trójkąta AOB otrzymamy

$$\frac{F}{x} = \frac{\sin p}{\sin (180^0 - \beta)}$$

albo

$$\frac{F}{x} = \frac{\sin p}{\sin \beta}$$

skąd

$$\sin p = \frac{F}{x} \sin \beta \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \qquad (81)$$

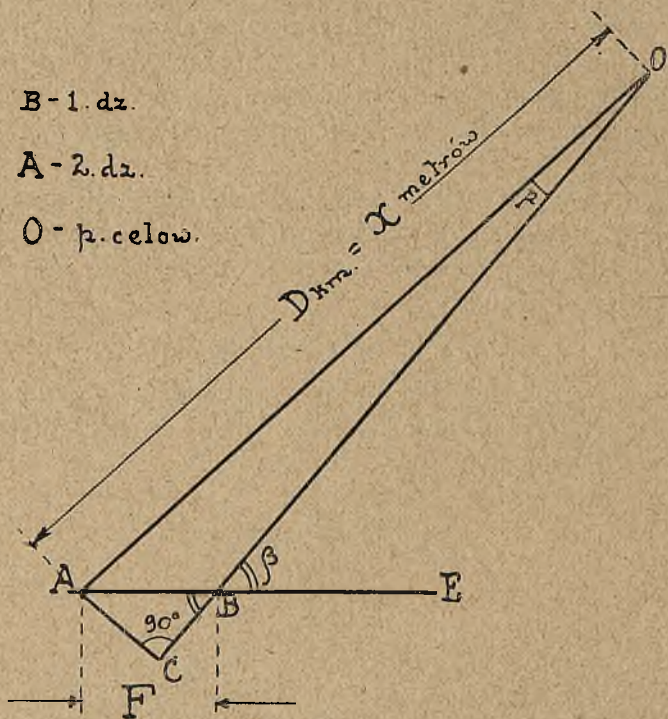
---

[30]) W. Poliński. Dokładne strzelanie artylerji. Toruń 1926 str. 130—1.

[31]) Niesłusznie zwana z francuska „poprawka stacji" (correction de station) Po polsku „stacja" — to tylko stacja kolejowa, meteorologiczna, doświadczalna, klimatyczna i t. p. ale nigdy nie stanowisko, punkt stania.

otrzymaliśmy wzór poprzednio udowodniony.

Ponieważ przy niewielkich kątach możemy zamiast linji sinusa pewnego kąta wziąć łuk, temu kątowi odpowiadający, to we wz. 81 możemy zamienić sin*p* na *p*. A zatem



Rys. 8.

$$p = \frac{F}{x} \sin \beta \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (82)$$

Ponieważ z prawej strony wz. (82) dzielimy metry na metry, a sinus jest wartością oderwaną, to otrzymamy ze wz. (82) kąt *p*, wyrażony w mierze bezwzględnej czyli łukowej (radjanach). Ażeby wyrazić ten kąt w tysięcznych rzeczywistych, musimy[32]) miarę łukową pomnożyć przez tysiąc. A więc

$$p = 1000 \frac{F}{x} \sin \beta = \frac{F}{x/_{1000}} \sin \beta \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (83)$$

Ponieważ odległości x metrów $= D$ kilometrów, to

[32]) p. artykuł „Miary kątowe". Przegl. Artyl. r. 1928. Nr. 5. str. 425.

$$1000\,D = x$$

czyli $$D = \frac{x}{1000} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (84)$$

Z porównania wz. (83) i (84) wynika:

$$p = \frac{F}{D} \sin\beta \quad \ldots\ldots\ldots \quad (85)$$

gdzie F — w metrach; D — w kilometrach. Wzór (85) wyraża więc ściśle biorąc rozwarcie p w tysięcznych rzeczywistych. W zastosowaniach praktycznych uważamy wszakże, iż rozwarcie p, uzyskane ze wz. (85), podaje odrazu kąt p w tysięcznych zwykłych.

W obu powyższych wypadkach moglibyśmy obliczyć rozwarcie inaczej. Przeprowadzimy prostopadłe AC (rys. 7 i 8). Wówczas z trójkątów prostokątnych ACO otrzymamy bezpośrednio na zasadzie wz. (6)

$$p = \frac{AC}{D} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (86)$$

Wzór (85) stosujemy przy układaniu snopa rzadko i, oczywiście tylko wtedy, gdy czas na to powala. Musimy wówczas zmierzyć β — kątomierzem działowym, określić D przy pomocy mapy, odstęp F — krokami i przeliczywszy na metry, podstawić do wz. (85). Sposób obliczania sinusa niezbędny przytem, podamy poniżej.

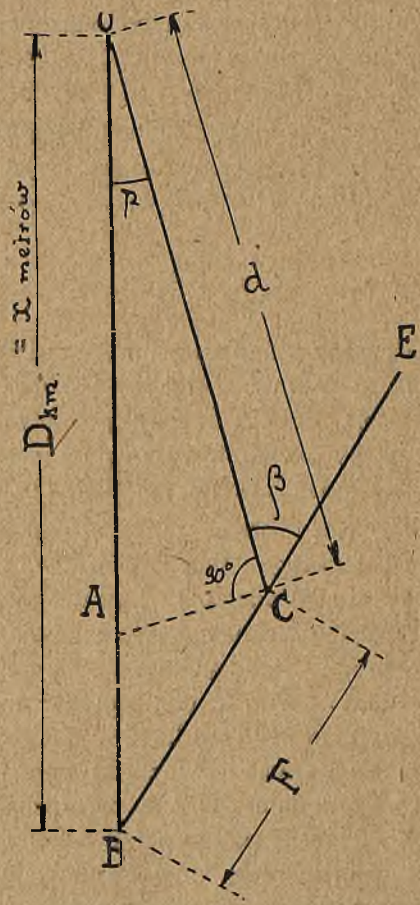
Jeżeli jednak starszy oficer ma mało czasu (najczęściej!), to wówczas użyć musi prostego wzoru (86). W tym celu odkracza odległość AC („prostopadły odstęp“), a przeliczywszy na metry stosuje wz. (86). Jest bardzo wskazane zmierzyć AC kilkakrotnie, gdyż, jak wiemy, wpływ błędu bezwzględnego w pomiarze AC na wynik obliczenia jest b. duży. Wzoru (86) należy używać zamiast (85) szczególnie w tym wypadku, gdy odległość do punktu celowania jest oceniona na oko (bez mapy), a więc gdy pomiar D jest obarczony częstokroć znacznym błędem. Niema wówczas potrzeby mierzyć dokładnie kąta β i obliczać sinus, ponieważ dokładność, uzyskana przytem kosztem czasu, zostanie zniweczona wskutek niedokładności w ocenie D, a zatem nie wywrze wcale pożądanego wpływu na dokładność w obliczeniu rozwarcia [33]).

Jeżeli nie posiadamy kątomierza (lub gdy niema jeszcze dział na stanowisku), stosujemy również wz. (86), ponieważ wyznaczanie

[33]) Patrz także podane w dalszym ciągu wnioski z rozpatrzenia tabeli 14, a także podane już wnioski z tabeli 5.

kąta β „ręką" jest zbyt niedokładne (szczególnie przy małych kątach pochylenia), a więc spowoduje znaczne błędy w wyniku zastosowania wzoru (85).

Powyższe rozumowania i otrzymane wzory pozostają bez zmiany i w tym wypadku, gdy punkt celowania znajduje się ztyłu baterji. Rozpatrzmy teraz drugi rodzaj zastosowań wzoru rozwarcia. Niech będzie (rys. 9): *B* — stanowisko działa kierunkowego, *C* —



Rys. 9.

punkt obserwacyjny, *O* — dozór. Przypuśćmy, iż odległości $D = OB$ oraz $F = BC$ są znane, przytem *F* — wyrażone w metrach, a *D* w kilometrach. Chodzi nam o wyznaczenie rozwarcia *p* t. j. kąta

BOC. Załóżmy, iż z punktu obserwacyjnego widać działo *B*. Ponieważ dozór *O* musi być zawsze widoczny z p. *C* to możemy wówczas zmierzyć kątomierzem kąt $\beta = \sphericalangle OCE$
Z trójkąta *BCO* mamy:

$$\frac{F}{x} = \frac{\sin p}{\sin(180^0 - \beta)}.$$

albo

$$\frac{F}{x} = \frac{\sin p}{\sin \beta}$$

skąd

$$\sin p = \frac{F}{x} \sin \beta \qquad (81)$$

jest to już wzór uzyskany powyżej. Zrobiwszy te same przybliżenia co i poprzednio otrzymamy wzór praktyczny

$$p = \frac{F}{D} \sin \beta \qquad (85)$$

Rozumowania powyższe, w wyniku których uzyskaliśmy ponownie wz. (81) i (85) pozostałyby bez zmiany, gdyby punkt obserwacyjny był nie z prawej, a z lewej strony baterji, nie zprzodu, lecz ztyłu.

Zatem wzory (81) i (85) są wzorami ogólnemi przy obliczaniu rozwarcia.
Kładąc we wz. (85) $\beta = 90^0 = 1600'$

otrzymamy

$$p = \frac{F}{D} \qquad (6)$$

A więc wzór zasadniczy (6), jest, jak wspominaliśmy, rzeczywiście poszczególnym wypadkiem wzoru ogólnego (85).

Zauważyć musimy, iż w praktyce w wyjątkowych tylko wypadkach widać stanowisko działa kierunkowego z punktu obserwacyjnego, a więc najczęściej nie mamy możności zmierzyć kąta β w terenie, to zaś uniemożliwia użycie wz. (85) w zastosowaniach 2 rodzaju.

Jakże postąpić w takim razie? Wystawimy z *C* prostopadłą do *OC*. Niech *AC* wynosi *f* metrów. Oceniwszy odległość *OC* w jakikolwiek sposób, jako *d* kilometrów, mamy na zasadzie wzoru (6) bezpośrednio

$$p = \frac{f}{d}$$

Wytyczenie kierunku *AC* jest bardzo łatwe przy pomocy kątomie-

rza [34]). Co do pomiaru odległości *f*, musimy zauważyć, iż odmierzanie jej krokami jest łatwe, gdy ta odległość jest nieduża, gdy punkty *A* i *B* (działo) są bliskie, a odległość *D* lub *d* można łatwo wyznaczyć i gdy wreszcie teren w pobliżu punktów *B* i *C* jest przejrzysty. W innych wypadkach, a w szczególności gdy teren jest nieprzejrzysty, ocena odległości *AC* (lub *CB*) na oko lub krokami jest trudna i, jak widzieliśmy w rozdziale 4, wywołuje znaczne błędy w obliczaniu rozwarcia *p*.

Ażeby móc zastosować w praktyce wzór

$$p = \frac{F}{D} \sin \beta \tag{85}$$

trzeba szybko i bez namysłu obliczyć sinus kąta β. Jest zatem bardzo wskazane podać proste prawidło mnemoniczne, któreby umożliwiło wykonanie obliczenia sinusa pamięciowo. Tabelka bowiem sinusów, podawana na wykładach S. S. Art. [35]) nie jest łatwa do zapamiętania, jak się o tem przekonaliśmy w praktyce. Tabelka takiego układu jest łatwa do zapamiętania jedynie dla kątów wyrażonych w tysięcznych Rimailho. Rzeczywiście, wtedy wartość sinusów łatwo zapamiętać, bo jeśli kąt równa się β, to $\sin \beta = \frac{\beta}{1000}$, a dla kątów od 1000 do 1500 *tR.*, $\sin \beta = 1$.

W celu uzyskania prostych wzorów praktycznych, niezbędnych do obliczenia sinusa kątów, wyrażonych w tysięcznych zwykłych, ułożyliśmy tabelę 7. Składa się ona z 6 rubryk. W pierwszych dwóch podajemy wartość kąta β w tysięcznych oraz stopniach i minutach. W rubrykach drugiej i trzeciej — sinus kąta β z dokładnością do 5 — 6 znaków oraz zaokrąglony. W rubrykach ostatnich — błędy w obliczeniu sinusa popełnione skutkiem „zaokrąglenia". Liczby rubryki 5, t. j. błędy bezwzględne, otrzymaliśmy odejmując od liczb rubr. 4 liczby rubryki 3 i mnożąc wynik przez 100, otrzymaotrzymaliśmy liczby rubr. 6 t. j. błędy względne w procentach popełnione wskutek zaokrąglenia sinusów. Zaokrąglenie to zrobiliśmy dowolnie, z tym wszakże, by wartości sinusów były łatwe do zapamiętania.

---

[34]) Jeżeli odległości *D* i *d* są duże względem *F*, to nie robi różnicy czy obliczymy *AC* prostopadle do *d* czy do *D*. Błąd popełniony niema praktycznego znaczenia.

[35]) Podana również w skryptach Ofic Szk. Art.: Por. Chorzewski „Podręcznik do nauki instrukcji strzelania". Toruń 1925 r. str. 48 oraz Kpt. W. Poliński „Podręcznik do nauki strzelauia". Toruń 1927 r. str. 17 — 18.

Tabela 7.

β		sin β		błąd	
tyś. zw.	stopnie i min.	dokł.	zaokrągl	bezwzględ.	względny %
1	2	3	4	5	6
10	0° 33,75′	0,009839	0,01	+ 0,000161	+ 1,6
20	1° 7,5′	0,019633	0,02	+ 0,000367	+ 1,9
30	1° 41′	0,029375	0,03	+ 0,000625	+ 2,0
40	2° 15′	0,039259	0,04	+ 0,000741	+ 1,9
50	2° 48,7′	0,049053	0,05	+ 0,000947	+ 1,9
60	3° 22,5′	0,058871	0,06	+ 0,001129	+ 1,9
70	3° 56,3′	0,068663	0,07	+ 0,001337	+ 2,0
80	4° 30′	0,078459	0,08	+ 0,001541	+ 2,0
90	4° 63,75′	0,088243	0,09	+ 0,001757	+ 2,0
100	5° 37,5′	0,09810	0,1	+ 0,00190	+ 2,0
200	11° 15′	0,19509	0,2	+ 0,00491	+ 2,5
300	16° 52,5′	0,29018	0,3	+ 0,00982	+ 3,4
400	22° 30′	0,38268	0,4	+ 0,01732	+ 4,5
500	28° 7,5′	0,47140	0,5	+ 0,02860	+ 6,0
600	33° 45′	0,55557	0,6	+ 0,04443	+ 7,0
700	39° 22,5′	0,63440	0,65	+ 0,01560	+ 2,5
800	45°	0,70711	0,7	— 0,0711	— 1,0
900	50° 37,5′	0,77302	0,75	— 0,02302	— 3,0
1000	56° 15′	0,83147	0,8	— 0,03147	— 3,5
1100	61° 52,5′	0,88192	0,85	— 0,03192	— 3,4
1200	67° 30′	0,92388	0,9	— 0,02388	— 2,6
1300	73° 7,5′	0,95669	0,95	— 0,00669	— 0.7
1400	78° 45′	0,98079	1	+ 0,01921	+ 1,9
1500	84° 22,5′	0,99518	1	+ 0,00482	+ 0,5
1600	90°	1,00000	1	0	0

Z tabeli powyższej widać, iż największe błędy, które popełniamy, przyjmując wartości sinusów zaokrąglone zamiast dokładnych, wynoszą 6 — 7 % dla kątów β ok. 500—600 tys. Błędy te są jednak małe

w porównaniu do błędów w pomiarach odległości F i D i wobec tego nie wpływają znacznie na wynik rozwarcia obliczonego. Jak widać z tabeli powyższej (rubr. 4) sinusy zaokrąglone są bardzo łatwe do zapamiętania. Co więcej, gdyby się nawet je zapomniało, to, jak widać z tabeli (rubr. 4) nie trudno je jest, pisząc, odtworzyć.

Istotnie, z porównania rubryk 1 i 4 powyższej tabeli widać bezpośrednio, iż gdy

$$0 < \beta < 600^t, \text{ to } \sin\beta = \frac{\beta}{1000} \qquad (87)$$

Gdy kąt β jest zawarty między 600 i 1300^t, zależność między sinusem a kątem wypada bardziej złożona. Ażeby ją wyprowadzić wypiszemy część rubr. 1 i 4 tabeli w poniższy sposób:

Tabela 8

β w tys. zw.	sin β	
700	0,65	0,7 — 1 . 0,05
800	0,7	0,8 — 2 . 0,05
900	0,75	0,9 — 3 . 0,05
1000	0,8	1,0 — 4 . 0,05
1100	0,85	1,1 — 5 . 0,05
1200	0,9	1,2 — 6 . 0,05
1300	0,95	1,3 — 7 . 0,05

Pierwszy rząd liczb rubryki 3 łatwo ująć we wzór ogólny $\frac{\beta}{1000}$ gdzie β — jest liczba tysięcznych kąta. Każdy zaś ze spółczynników 1, 2, 3, ... 7 rubryki ostatniej nie jest niczem innem jak

$$\frac{\beta}{100} - 6.$$

Mamy więc następujący wzór dla wyznaczenia sinusa:

$$\sin\beta = \frac{\beta}{1000} - \left(\frac{\beta}{100} - 6\right) . 0{,}05$$

skąd, po wykonaniu prostych przekształceń, otrzymamy wzór:

$$\sin\beta = \frac{\frac{\beta}{2}}{1000} + 0{,}3 \qquad (88)$$

dogodny przy obliczeniach pamięciowych.

Zauważyć łatwo, iż dla kąta $\beta = 600^t$, który jest granicą odstępów 0 — 600 i 600 — 1300, są ważne wzory obydwa t. j. (87) i (88). Z tabeli 7 widać, iż dla kątów od 1300 do 1600^t sinus wynosi okrągło 1.

Powyższe rozważania zestawiliśmy w tabeli następującej:

Tabela 9.

β w tysięczn.	sin β
0 — 600	$\frac{\beta}{1000}$
600 — 1300	$\frac{\beta/_2}{1000} + 0{,}3$
1300 — 1600	1

Przy pomocy powyższych wzorów, łatwych do zapamiętania, można bez trudności obliczyć szybko w pamięci sin β dla dowolnego kąta z dokładnością, najzupełniej dla praktyki wystarczającą.

W poszczególnych wypadkach, aby uniknąć stosowania powyższej tabelki, można wzór

$$p = \frac{F}{D} \sin \beta \qquad (85)$$

przekształcić na wzory proste, dogodne do zapamiętania.

Rzeczywiście, widzieliśmy, iż np. przy $\beta = 90^0 = 1600^t$ wzór powyższy przyjmuje kształt

$$p = \frac{F}{D}$$

(ponieważ sin $90^0 = 1$) t. j. przekształca się na wzór zasadniczy (6). W podobny sposób przy kącie pochylenia $\beta = 30^0 = 533^t$ mamy

$\sin \beta = \frac{1}{2}$, a więc, ze wz. (85) wynika:

$$p_{30^0} = \frac{F}{D} \cdot \frac{1}{2} = \frac{F}{2D}.$$

Obliczmy w podobny sposób wzory dla pochyleń, równych 45^0 i 60^0, łatwych do oceny bez przyrządów.

Gdy kąt $\beta = 45^0 = 800^t$, to sin $\beta = 0{,}707$, z dokładnością do 0,001. Podstawiając wartość sin β do wzoru (85) otrzymamy

$$p_{45^0} = \frac{F}{D} \cdot 0{,}707 = \frac{F}{\frac{1000}{707} D} = \frac{F}{1\frac{293}{707} D} = \frac{F}{D + \frac{293}{707} D} = \frac{F}{D + 0{,}414 D}.$$

Ażeby wzór otrzymany był dogodny do zapamiętania, musimy zamienić ułamek 0,414 na ułamek prosty w przybliżeniu równy 0,414.

Łatwo to wyznaczyć, zaokrąglając ułamek 0,414 z nadmiarem lub z niedomiarem. Otrzymamy dzięki temu dwa ułamki: $0,5 = {}^1/_2$ oraz 0,4. Błędy są odpowiednio równe $+0,086$ i $-0,014$.

Zatem, podstawiając do wzoru ostatniego dobrane dwa ułamki, otrzymamy wzory przybliżone:

$$p'_{45^0} = \frac{F}{D + \frac{D}{2}}$$

oraz

$$p''_{45^0} = \frac{F}{D + 0,4\,D}$$

Z powyższego widać, iż wzór drugi p'' jest dokładniejszy od pierwszego p'. Istotnie, przekształcając otrzymane wzory, otrzymamy:

$$p'_{45^0} = \frac{F}{D} \cdot 0,667 \text{ oraz } p''_{45^0} = \frac{F}{D} \cdot 0,714.$$

Czyli odpowiednie błędy rozwarcia, wskutek przybliżonej wartości sinusów, wyniosą:

$$1)\quad \frac{0,677 - 0,707}{0,707} = -5,65\% \backsim -6\%$$

$$2)\quad \frac{0,714 - 0,707}{0,707} = +0,98\% \backsim +1\%$$

Wzór drugi jest więc rzeczywiście dokładniejszy od ogólnie przyjętego pierwszego.

Gdy pochylenie $\beta = 60^0 = 1067^t$, to $\sin\beta = 0,866$ (z dokładnością do 0,001). A więc, ze wzoru (85) otrzymamy:

$$p_{60^\circ} = \frac{F}{D} 0,866 = \frac{F}{\frac{1000}{866} D} = \frac{F}{1\frac{134}{866} D} = \frac{F}{D + \frac{134}{866} D} = \frac{F}{D + 0,154\,D}$$

Zamieniajac 0,154 na ułamek nie wiele większy $0,167 = \frac{1}{6}$ i podstawiając go do wzoru uzyskanego zamiast ułamka 0,154, otrzymamy wzór przybliżony

$$p_{60^\circ} = \frac{F}{D + \frac{D}{6}}$$

dogodny do obliczeń praktycznych. Przekształcając otrzymany wzór będziemy mieli

$$p_{60^\circ} = \frac{F}{D} \cdot 0.857$$

Ponieważ jednak z dokładnością do 3 znaków dziesiętnych

$$p_{60^\circ} = \frac{F}{D} \cdot 0,866$$

to błąd rozwarcia przy zastosowaniu wzoru

$$p_{60^\circ} = \frac{F}{D + \frac{D}{6}}$$

wskutek przybliżonej wartości sinusa wyniesie:

$$\frac{0,857 - 0,866}{0,866} = -\frac{9}{866} = -1,03\% \infty -1\%$$

W broszurze p. t. „Układanie snopa" (wyd. Obozu Szk. Art. Toruń 1926) na str. 9 czytamy, iż przy kącie pochylenia $\beta = 60^0$ należy w mianowniku wzoru (6) wziąć zamiast D wyraz $D + \frac{D}{3}$. Zatem wzór miałby kształt $p_{60^\circ} = \frac{F}{D + \frac{D}{3}}$. Jest to zbyt grube przybliżenie, ponieważ przy sprawdzeniu tego wzoru w powyższy sposób, otrzymaliśmy, iż błąd rozwarcia wskutek przybliżonej wartości sinusa, równa się — 13,4 % t. j. okrągło 13 %. —

Rozważania powyższe ujmuje tabela następująca:

(Patrz tablica na str. 126).

Z tabeli powyższej wynika, iż wzór 4, a szczególnie 3 jest zbyt mało dokładny i że powinniśmy zamiast nich używać (gdy $\beta = 60^0$ oraz $\beta = 45^0$) wzory 2 albo 5. Na niekorzyść wz. 5 w porównaniu do 4 przemawia spółczynnik 0,4 niewygodny przy obliczeniach pamięciowych. Natomiast wzór 2 jest równie dogodny jak 3.

Przykłady: 28 a) $F = 700$ m.; $x = 6000$ m.; $\beta = 60^0 = 1067^t$. obliczymy rozwarcie ze wzoru dokładnego (81)

$$\sin p_i = \frac{700}{6000} \sin 60^0;$$

lg 700	= 2,84510	
clg 6000	= $\overline{4}$,22185	— 3,77815
lg sin 60°	= $\overline{1}$,93753	
lg sin p_i	= $\overline{1}$,00448	
p_i	= 103,09^t.	

Tabela 9 bis.

L. wzoru	β stopnie	β t. zw.	p t. zw.	błąd względny %
1	90	1600	$\frac{F}{D}$	0
2	60	1067	$\frac{F}{D+\frac{D}{6}}$	— 1
3	"	"	$\frac{F}{D+\frac{D}{3}}$	— 13
4	45	800	$\frac{F}{D+\frac{D}{2}}$	— 6
5	"	"	$\frac{F}{D+0{,}4\ D}$	+ 1
6	30	533	$\frac{F}{2\ D}$	0

ze wzoru 3: $p_1 = \frac{700}{6+2} = \frac{700}{8} = 87{,}5^t$; błąd $\Delta = -15{,}59^t$.

ze wzoru 2: $p_2 = \frac{700}{6+1} = \frac{700}{7} = 100^t$; błąd $\Delta = -3{,}09^t$.

przy pomocy wz. (85) i tab. 9

$$p_3 = \frac{700}{6} \cdot \left(\frac{\frac{1067}{2}}{1000} + 0{,}3\right) = \frac{700}{6}\left(0{,}533 + 0{,}3\right) = \frac{700}{6} \cdot 0{,}833 = 97{,}1^t;$$

błąd $\Delta = -6^t$.

Wyniki, najbardziej zbliżone do wartości rzeczywistej, dał projektowany wzór 2 oraz wzór praktyczny (85) z zastos. tabl. 9.

28 b) $F = 560$ m.; $x = 2000$ m.; $\beta = 45^0 = 800^t$.

Ze wzoru dokładnego:

$$\sin p_i = \frac{560}{2000} \sin 45^0;$$

$\lg\ 560 = 2{,}74819$	
$\text{clg}\ 2000 = \bar{4}{,}69807$	$-\ 3{,}30103$
$\lg \sin 45^0 = \bar{1}{,}84949$	
$\lg \sin p_i = \bar{1}{,}29575$	
$p_i = 202{,}6^t.$	

ze wzoru 4: $p_1 = \frac{560}{2+1} = \frac{560}{3} = 186{,}6^t$; błąd $\Delta = -16^t$

ze wzoru 5: $p_2 = \frac{560}{2+0{,}8} = \frac{560}{2{,}8} = 200^t$; błąd $\Delta = -2{,}6^t$.

przy pomocy wz. $p = \frac{F}{D} \sin \beta$ i tabl. 9

$$p_3 = \frac{560}{2}\left(0{,}4 + 0{,}3\right) = 280 . 0{,}7 = 196^t;\ \text{błąd}\ \Delta = -6{,}6^t.$$

Wynik najbliższy do rzeczywistego dał projektowany wzór 5 oraz wzór praktyczny $p = \frac{F}{D} \sin \beta$ z zastosowaniem tabeli 9.

Widzimy, iż wyniki uzyskanych obliczeń przemawiają za projektowanymi wzorami 2 i 5 oraz tabelką 9.

W przykładach powyższych w celu przejrzystości dobraliśmy takie dane, aby obliczenia się uprościły. Podobne obliczenia można wszakże dokonać dla dowolnych danych liczbowych; zawsze jednak wynik przy pomocy wzoru 2 i 5 oraz tabelki 9 jest dokładniejszy od innych wzorów przybliżonych.

Rozdział 6. Błędy w obliczeniu rozwarcia ze wzoru ogólnego w założeniu, iż odległości *F*, *D* oraz kąt β są zmierzone bez błędu.

Badanie tych błędów wykonamy tak, jak w rozdziale 2 przy badaniu niedokładności wzoru (6), t. j. zakładając, iż odległości *F* i *D* oraz kąt β są zmierzone z matematyczną dokładnością.

Z rozdziału 5 wynika, iż przy zastosowaniu wzoru

$$p = \frac{F}{D} \sin \beta \tag{85}$$

robimy dla przybliżenia:

1) „pierwsze przybliżenie": uważamy linję sinusa kąta p za łuk p, popełniając przytem błąd Δ_1.

2) „drugie przybliżenie“: liczbę p tysięcznych rzeczywistych, otrzymanych z obliczenia uważamy za p tysięcznych zwykłych błąd popełniony oznaczamy Δ_2.

Błędy Δ_1 oraz Δ_2 zachodząc stale, składają się w jeden błąd wypadkowy Δ_w, który powoduje mniejszą lub większą różnicę między rozwarciem obliczonem p_o, a istotnem p_i.

Błąd wskutek drugiego przybliżenia jest taki sam, jak odpowiedni błąd przy zastosowaniu wz. (6), ponieważ jednakowe przybliżenia wywołują jednakowe skutki. Błąd ten obliczyliśmy już poprzednio:

$$\Delta_2 = -0{,}01826\, p_i \tag{26}$$

jest to błąd ujemny.

Błąd wskutek pierwszego przybliżenia (t. j. gdy zamiast *sinp* bierzemy p) wynosi

$$\Delta_1 = sinp_i - p_i \tag{89}$$

Z trygonometrji wiadomo, iż

$$sinp_i < p_i$$

skąd

$$sinp_i - p_i < O$$

zatem

$$\Delta_1 < O \tag{90}$$

Przykład 29. Sinp = 0,5. Wówczas $p = 30^0 = 0{,}5235$ radjana $= 523{,}5^{t.\,rz.}$

Przyjmując odrazu zamiast sinusa $p = 0{,}5$ radjana $= 500^{t.\,rz.}$, otrzymujemy rozwarcie mniejsze od istotnego.

Przy zastosowaniu wzoru (85) popełniamy wskutek pierwszego przybliżenia błąd z niedomiarem, ponieważ błąd Δ_1 jest ujemny.

Rozwińmy sinus w szereg:

$$sinp_i = p_i - \frac{p_i^3}{3!} + \frac{p_i^5}{5!} - \frac{p_i^7}{7!} + \ldots\ldots \tag{91}$$

skąd

$$sinp_i - p_i = -\frac{p_i^3}{3!} + \frac{p_i^5}{5!} - \frac{p_i^7}{7!} + \ldots\ldots \tag{92}$$

albo w myśl wz. (89)

$$\Delta_1 = -\frac{p_i^3}{3!} + \frac{p_i^5}{5!} - \frac{p_i^7}{7!} + \ldots\ldots \tag{93}$$

We wzorach tych p_i — rozwarcie istotne jest wyrażone w mierze łukowej (radjanach).

Jak wiadomo rozwarcia, wyrażone w tej mierze są to zazwyczaj b. małe ułamki. Z tego powodu z dostateczną ścisłością, postępując tak, jak w rozdziale drugim (wzór 41 — 42), możemy we

wz. (93) odrzucić wyrazy, od drugiego począwszy, jako małe wielkości wyższych rzędów wobec p_i^3. Wskutek tego otrzymamy ze wz. (93):

$$\Delta_1 = -\frac{p_i^3}{3!} = -\frac{p_i^3}{6} \tag{94}$$

Błąd wypadkowy Δ_w równa się, oczywiście, sumie algebraicznej błędów składowych t. j.

$$\Delta_w = -\Delta_1 - \Delta_2$$

czyli na zasadzie wz. (26) i (94)

$$\Delta_w = -\frac{p_i^3}{6} - 0{,}01826\, p_i \tag{95}$$

gdzie Δ_w oraz p_i w mierze łukowej (bezwzględnej).

Błąd wypadkowy jest zatem stale ujemny.

Błąd wypadkowy wskutek niedokładności wz. (6) równał się, jak wiemy:

$$\Delta_w = \frac{p_i^3}{3} - 0{,}01826\, p_i \tag{43}$$

i był to dodatni, to ujemny i w poszczególnym wypadku równy zeru (rozdział 2). We wzorze (43) $\Delta_1 = \frac{p_i^3}{3}$ oraz $\Delta_2 = -0{,}01826\, p_i$.

A więc błąd Δ_1 wzoru

$$p = \frac{F}{D} \sin \beta \tag{85}$$

wynosi

$$\Delta_1'' = -\frac{p_i^3}{6} \tag{96}$$

a tenże błąd wzoru

$$p = \frac{F}{D} \tag{6}$$

równa się

$$\Delta_1' = +\frac{p_i^3}{3} \tag{97}$$

Z porównania wzorów (97) i (96) wynika łatwy sposób obliczania błędu Δ_1'', skoro jest dany błąd Δ_1': należy poprostu bezwzględną wartość błędu Δ_1' podzielić przez dwa i wziąć z odwrotnym znakiem. Ponieważ z drugiej strony błędy Δ_2 są dla obydwu wzorów te same, łatwo również obliczyć Δ_w dla wzoru (85), skoro ma się dane dla wzoru (6).

Wypiszmy np. z tabeli 1 dla wz. $p = \frac{F}{D}$		Wówczas dla wz. $p = \frac{F}{D} \sin \beta$ łatwo napisać
t y s i ę c z n e		t y s i ę c z n e
z rubr. 5	$p_i = 387{,}59$	$p_i = 387{,}59$
„ „ 7	$\Delta_2 = -7{,}08$	$\Delta_2 = -7{,}08 = -7{,}08$
„ „ 8	$\Delta_1 = +19{,}49$	$\Delta_1 = -\left(\frac{19{,}49}{2}\right) = -9{,}75$
„ „ 6	$\Delta_w = +12{,}41$	$\Delta_w = \quad -16{,}83$

Postępując w taki sposób możemy z łatwością obliczyć błąd wypadkowy dla dowolnego rozwarcia (podanego w tabeli 1) wskutek niedokładności wzoru (85). Takie obliczenia wykonaliśmy dla ośmiu rozwarć, a wynik obliczeń zestawiliśmy w tabeli 10. Rubryki 1 oraz 2 tej tabeli są to liczby przepisane z rubryk 5 i 6 tabeli 1. Liczby rubryki 3 tabeli 10 uzyskaliśmy z obliczenia w podany wyżej sposób.

Tabela 10.

p_i	Błędy wypadkowe Δ_w wzorów:	
	$p = \frac{F}{D}$	$p = \frac{F}{D} \sin \beta$
1	2	3
387,59	+12,41	—16,83
296,88	+ 3,12	— 9,69
237,99	+ 0,01	— 6,53
201,06	— 1,06	— 4,95
151,65	— 1,65	— 3,33
146,69	— 1,69	— 3,17
101,52	— 1,52	— 2,02
50,89	— 0,89	— 0,93

Uwaga: wszystkie liczby — tysięczne zwykłe.

Z powyższej tabeli wynikają następujące wnioski:

1) Dla jednakowych rozwarć (istotnych) wzór $p = \frac{F}{D} \sin \beta$ **jest mniej dokładny od wzoru** $p = \frac{F}{D}$**, ponieważ bezwzględne wartości błędów przy zastosowaniu pierwszego wzoru są zawsze większe od błędów drugiego.**

W praktyce niedokładności wzoru $p = \frac{F}{D} \sin\beta$ wzrastają jeszcze bardziej w stosunku do wzoru drugiego, ponieważ stosując wzór $p = \frac{F}{D}$ robimy błędy tylko w dwóch pomiarach (F i D), a przy zastosowaniu wzoru $p = \frac{F}{D} \sin \beta$ w trzech pomiarach (F, D i β), a ponadto czwarty błąd, zaokrąglając $\sin\beta$.

Z tych powodów **należy w praktyce starać się używać wzoru** $p = \frac{F}{D}$ **zamiast** $p = \frac{F}{D} \sin\beta$**, co, jak widzieliśmy, jest częstokroć możliwe.**

2) Gdy rozwarcie istotne jestmniejsze od 150', wzór $p = \frac{F}{D} \sin \beta$ **można stosować bez zastrzeżeń, ponieważ błąd wypadkowy nie przekracza prawie 3', czyli jednych wideł w kierunku.**

3) Gdy rozwarcie (istotne) jest większe od 150; a mniejsze od 300 tysięcznych w „pobieżnem", mniej dokładnem przygotowaniu ognia można stosować wzór $p = \frac{F}{D} \sin \beta$**, pamiętając, iż błąd wypadkowy dochodzi do trzykrotnej przeszło wartości wideł w kierunku. Spodziewać się w tym wypadku dużej dokładności nie można, skoro się zauważy, iż błędy w pomiarach** F, D **i** β **mogą powiększyć błąd** Δ_w.

Tabelę 10 można byłoby również obliczyć przy pomocy wzorów (95) i (43) pamiętając o przeliczeniu tysięcznych zwykłych na miarę łukową i odwrotnie[36]). Przy sprawdzaniu tabeli 10, tą metodą, otrzymaliśmy liczby prawie identyczne z podanemi w tabeli 10. W wyniku otrzymalibyśmy te same wnioski praktyczne co poprzednio.

Rozdział 7. Błędy w obliczeniu rozwarcia ze wzoru ogólnego, gdy odległości F **i** D **oraz kąt** β **są zmierzone niedokładnie.**

Przy badaniu powyższych błędów zastosujemy ponownie metodę, użytą w rozdziale 3 do rozważań nad błędem rozwarcia, obliczonego

[36]) spółczynniki przeliczenia podaliśmy w artykule „Miary kątowe".

ze wz. (6) gdy odległości F i D były zmierzone niedokładnie. Ażeby usunąć wpływ niedokładności samego wzoru

$$p = \frac{F}{D} \sin \beta \tag{85}$$

na wynik rozważań, użyjemy wzoru dokładnego, udowodnionego poprzednio:

$$\sin p = \frac{F}{x} \sin \beta \tag{81}$$

gdzie jak F, tak i x są wyrażone w metrach.

Ze wzoru (81) widać, iż rozwarcie p jest funkcją uwikłaną trzech zmiennych parametrów: F, x (t. j. D) oraz β.

a) Błędy w obliczeniu rozwarcia w zależności od błędów w pomiarze odległości x.

Zlogarytmujmy wz. (81) przy zasadzie e.

$$\text{Lg} \sin p = \text{Lg}\, F - \text{Lg}\, x \tag{98}$$

Znajdźmy pochodną cząstkową równania (98) względem x, uważając F i β za wartości stałe.

$$\frac{d_x \sin p}{\sin p} = -\frac{dx}{x} \tag{99}$$

skąd:

$$d_x \sin p = -\sin p \frac{dx}{x} \tag{100}$$

ale

$$d_x \sin p = \cos p \, d_x p \tag{101}$$

a więc

$$\cos p \, . \, d_x p = -\sin p \, . \, \frac{dx}{x}$$

skąd

$$d_x p = -\frac{\sin p}{\cos p} \, . \, \frac{dx}{x} = -\text{tg}\, p \, . \, \frac{dx}{x} \tag{102}$$

Jeżeli chodzi tylko o bezwzględną wartość błędu $d_x p$, to możemy odrzucić znak błędu (minus); otrzymamy zatem:

$$d_x p = \text{tg}\, p \, . \, \frac{dx}{x} \tag{103}$$

t. j. bezwzględna wartość błędu w obliczeniu rozwarcia wskutek błędu w pomiarze odległości x jest proporcjonalna do błędu względnego w pomiarze tej odległości oraz do tangensa rozwarcia. A więc błąd $d_x p$ jest tym większy, im większy jest kąt p, gdyby nawet stosunek błędu dx do odległości x był wielkością stałą.

Są to więc prawie te same wnioski, które już otrzymaliśmy ze wz. (53):

$$d_x p = \frac{1}{2} \sin 2p \left(\frac{dx}{x}\right) \tag{53}$$

Aczkolwiek wzory (53) i (103) nie są identyczne, to jednak łatwo się przekonać, iż w granicach zastosowania praktycznego wzorów rozwarcia, spółczynnik $\frac{1}{2} \sin 2p$ oraz $\operatorname{tg} p$ są równe lub prawie równe.

Tabela 11.

p t. zw.	$\frac{2}{1} \sin 2p$	$\operatorname{tg} p$	wartości zaokrąglone $\frac{1}{2} \sin 2p$	wartości zaokrąglone $\operatorname{tg} p$
300	0,277785	0,3033	0,28	0,30
200	0,19134	0,1988	0,19	0,20
100	0,097545	0,0985	0,10	0,10
50	0,04905	0,0491	0,05	0,05
20	0,019533	0,0196	0,02	0,02

Widać to przejrzyście z tabeli powyższej. Można zatem przyjąć, iż:

$$\frac{1}{2} \sin 2p \cong \operatorname{tg} p \tag{104}$$

pod warunkiem, iż $p \leqslant 300'$. A więc w tych warunkach wzory (53) i (103) praktycznie biorąc dadzą wyniki liczebne jednakowe dla tego samego p.

Gdy $p = 300'$, to $\operatorname{tg} p = 0{,}30$. Jest to największa wartość tangensa, ponieważ do większych rozwarć w praktyce nie stosujemy wzoru (85). A więc:

$$(d_x p)_{\max} = 0{,}30 \left(\frac{dx}{x}\right) \tag{105}$$

jest to wzór bardzo zbliżony do wz. (54), a zatem i wniosek będzie taki sam (rozdział 3a).

Rozpatrzmy teraz wz. (102) uwzględniający nie tylko wielkość błędu $d_x p$, ale również jego znak t. j. kierunek:

$$d_x p = -\operatorname{tg} p \left(\frac{dx}{x}\right) \tag{102}$$

Ze wzoru tego wynika, iż błąd rozwarcia jest odwrotny (co do znaku) do błędu dx. Istotnie ponieważ spółczynnik $\operatorname{tg} p$ jest zawsze dodatni, to:

$$\begin{array}{llll} \text{jeżeli} & dx > 0 & \text{to} & d_x p < 0 \\ & dx < 0 & \text{"} & d_x p > 0 \end{array}$$

a więc, **błąd ujemny (przez niedomiar) pomiaru odległości x wywołuje błąd dodatni (przez nadmiar) rozwarcia p i odwrotnie. Taki sam wniosek uzyskaliśmy już w odpowiedniem miejscu rozdziału 3d.**

Przykłady. (W przykładach poniżej rozwiązanych przy obliczeniu rozwarcia wzorem $\sin p = \frac{F}{x} \sin \beta$ biorę $\sin \beta$ bezpośrednio z rubryki 3 tabeli 7, albo obliczam go przy pomocy „tablic logarytmów dla użytku artylerji". Przy obliczeniu rozwarcia ze wzoru $p = \frac{F}{D} \sin \beta$ obliczam $\sin \beta$ ze wzorów podanych w tabeli 9).

30) $F = 1000$ m.; $x = 4000$ m.; $\beta = 500^t$.

$$\sin p_i = \frac{1000}{4000} \sin 500^t = 0{,}25 \,.\, 0{,}4714 = 0{,}1178; \quad \lg \sin p_i = \overline{1}{,}0711.$$

$$p_i = 120{,}2^t.$$

Niechaj błąd w pomiarze odległości x wynosi $dx = -200$ m. wówczas

$$x' = 3800 \text{ m.}; \quad \sin p' = \frac{1000}{3800} \sin 500^t = 0{,}263 \times 0.4714 = 0{,}1224.$$

$$\lg \sin p' = \overline{1}{,}0934; \quad p' = 126{,}4^t; \quad d_x p = 126{,}4 - 120{,}2 = +\ 62^t.$$

31) $F = 500$ m.; $x = 4000$ m.; $\beta = 500^t$;

$$\sin p_i = \frac{500}{4000} \sin 500^t = 0{,}125 \,.\, 0{,}4714 = 0{,}0589;$$

$$\lg \sin p_i = \overline{2}{,}7701; \quad p_i = 60{,}02^t.$$

Niechaj błąd wynosi znowu

$$dx = -200 \text{ m.}; \quad x'' = 4000 - 200 = 3800 \text{ m.}$$

$$\sin p'' = \frac{500}{3800} \sin 500^t = 0{,}131 \,.\, 0{,}4714 = 0{,}0618; \quad \lg \sin p'' = \overline{2}{,}7910.$$

$$p'' = 62{,}87^t. \quad d_x p = 62{,}87 - 60{,}02 = +\ 2{,}85^t.$$

A więc, w obu wypadkach ujemny błąd $dx = -200$ m. spowodował dodatnie błędy rozwarcia. Oprócz tego jednakowy błąd względny pomiaru $\frac{dx}{x} = -\frac{200}{4000} = -0{,}05$ spowodował różne błędy rozwarcia,

błąd rozwarcia okazał się tam większy, gdzie rozwarcie było większe.

Rozwiążmy powyższe przykłady wzorem przybliżonym $p = \frac{F}{D} \cdot \sin\beta$, korzystając z tabeli 9 przy obliczaniu sinusów.

32) dane przykładu 30.

$$p_1 = \frac{1000}{4} \cdot 0{,}5 = 250 \cdot 0{,}5 = 125^t; \; p_2 = \frac{1000}{3{,}8} \cdot 0{,}5 = 263 \cdot 0{,}5 = 131^t.$$

$$d_x p = 131^t - 125^t = +6^t.$$

33) dane przykładu 31.

$$p_1 = \frac{500}{4} \cdot 0{,}5 = 125 \cdot 0{,}5 = 62^t; \; p_2 = \frac{500}{3{,}8} \cdot 0{,}5 = 131 \cdot 0{,}5 = 65^t.$$

$$d_x p = 65 - 62 = +3^t.$$

Otrzymaliśmy wyniki bliskie do poprzednich.

34) $F = 500$ m. $x = 3000$ m. $\beta = 800^t$.

$$\sin p_i = \frac{500}{3000} \sin 800^t = 0{,}166 \cdot 0{,}7071 = 0{,}1174.$$

$$\lg . \sin p_i = \overline{1}{,}0697; \; p_i = 119{,}9^t$$

niechaj błąd $dx = +500$ m.; $x' = 3000 + 500 = 3500$ m.

$$\sin p' = \frac{500}{3500} \sin 800^t = 0{,}143 \cdot 0{,}70711 = 0{,}10102;$$

$$\lg . \sin p' = \overline{1}{,}0044; \; p' = 103{,}1^t.$$

$$d_x p = 103{,}1 - 119{,}9 = -16{,}8^t,$$

a więc błąd dodatni odległości x spowodował błąd ujemny rozwarcia.

35) Rozwiążmy przykład powyższy wzorem przybliżonym

$$p = \frac{F}{D} \sin\beta:$$

$$p_1 = \frac{500}{3} \cdot 0{,}7 = \frac{350}{3} = 117^t; \; p_2 = \frac{500}{3{,}5} \cdot 0{,}7 = \frac{500}{5} = 100^t.$$

$$d_x p = 100 - 117 = -17^t$$

Wynik podobny do otrzymanego powyżej.

Przykłady 31—35 najzupełniej potwierdzają udowodnione przedtem twierdzenia.

b) Błędy przy obliczaniu rozwarcia w zależności od błędów w pomiarze odległości *F*.

Weźmy pochodną cząstkową równania (98) względem F, uważając parametry x i β jako stałe:

$$\frac{d_F \sin p}{\sin p} = \frac{dF}{F}$$

skąd przy pomocy przekształceń, otrzymamy, jak wyżej

$$d_F \sin p = \sin p \frac{dF}{F}$$

$$d_F p \operatorname{Cos} p = \sin p \,.\, \frac{dF}{F}$$

skąd $$d_F p = \operatorname{tg} p \left(\frac{dF}{F}\right) \qquad (106)$$

Ponieważ wz. (103) i (106) są jednakowe, to znaczy się iż wartość bezwzględna błędu w obliczeniu rozwarcia p zależy w jednakowym stopniu od błędów względnych pomiaru odległości F i x. Oprócz tego wynika ze wz. (106) takiż wniosek, jak i ze wz. 103: błąd w obliczeniu rozwarcia wskutek błędu w pomiarze odległości F jest proporcjonalny do błędu względnego w pomiarze odległości F oraz do tangensa rozwarcia. A więc błąd $d_F p$ jest tym większy, im większy jest kąt p, gdyby nawet stosunek błędu dF do odległości F był stały.

Gdy $$p = 300^t, \text{ to}$$

$$(d_F p)_{\max} = 0{,}30 \left(\frac{dF}{F}\right) \qquad (107)$$

Otrzymaliśmy wzór bardzo zbliżony do wz. (57_{bis}). Zatem i wnioski będą te same (Rozdział 3b).

Znak plus po obu stronach wz. (106) wskazuje nam, że błąd rozwarcia $d_F p$ jest tego samego znaku, co i błąd dF. A więc, błąd ujemny (albo dodatni) pomiaru odległości F wywołuje również błąd ujemny (albo dodatni) rozwarcia p.

Przykłady.

36) Dane przykładu 31.

$$F = 500 \text{ m.}; \; x = 4000 \text{ m.}; \; \beta = 500^t; \; \sin p_i = 0{,}0589; \; p_i = 60{,}02^t.$$

Niechaj błąd $dF = +100$ m.; $F' = 500 + 100 = 600$ m.

$$\sin p' = \frac{600}{4000} \,.\, \sin 500^t = 0{,}15 \,.\, 0{,}4714 = 0{,}07071; \; \lg \sin p' = \bar{2}{,}8495.$$

$$p' = 71{,}9; \; d_F p = 71{,}9 - 60{,}02 = +10{,}88^t.$$

37) $F = 500$ m.; $x = 5000$ m.; $\beta = 500^t$.

$$\sin p_i = \frac{500}{5000} \,.\, \sin 500^t = 0{,}1 \,.\, 0{,}4714 = 0{,}04714;$$

$\lg \sin p_i = \bar{2},6734; \quad p_i = 47,98^t.$

Niechaj błąd pozostanie ten sam

$dF = +100$ m.; $F'' = 500 + 100 = 600$ m.

$$\sin p'' = \frac{600}{5000} \cdot \sin 500^t = 0,12 \cdot 0,4714 = 0,05657;$$

$\lg \sin p'' = \bar{2},7526; \quad p'' = 57,56^t.$

$d_F p = 57,56 - 47,98 = +9,58^t.$

Zatem w obu wypadkach dodatni błąd $dF = +100$ m. spowodował dodatnie błędy rozwarcia. Oprócz tego jednakowy błąd względny pomiaru $\frac{dF}{F} = +\frac{100}{5000} = +0,2$ spowodował różne błędy rozwarcia: błąd rozwarcia okazał się tam większy, gdzie rozwarcie istotne było większe. Rozwiązanie przykładów powyższych wzorem przybliżonym $p = \frac{F}{D} \sin \beta$ podajemy poniżej (prz. 38 i 39).

38) dane przykładu 36.

$$p_1 = \frac{500}{4} \cdot 0,5 = \frac{250}{4} \cong 62^t; \quad p_2 = \frac{600}{4} \cdot 0,5 = \frac{300}{4} = 75^t;$$

$d_F p = 75 - 62 = +13^t.$

39) Dane przykładu 37.

$$p_1 = \frac{500}{5} \cdot 0,5 = 50^t; \quad p_2 = \frac{600}{5} \cdot 0,5 = \frac{300}{5} = 60^t;$$

$d_F p = 60 - 50 = +10^t.$

40) $F = 800$ m.; $x = 4000$ m.; $\beta = 400^t$;

$$\sin p_i = \frac{800}{4000} \sin 400^t = 0,2 \cdot 0,3827 = 0,07654; \quad \lg \sin p_i = \bar{2},8839;$$

$p_i = 77,8^t.$

Niechaj błąd $dF = -200$ m.; $F' = 800 - 200 = 600$ m.;

$$\sin p' = \frac{600}{4000} \cdot \sin 400^t = 0,15 \cdot 0,3827 = 0,057405; \quad \lg \sin p' = \bar{2},7593;$$

$p' = 58,5^t; \quad d_F p = 58,5 - 77,8 = -19,3^t.$

A więc, błąd ujemny pomiaru odległości F spowodował również ujemny błąd rozwarcia:

41) Rozwiążmy przykład powyższy wzorem przybliżonym:

$$p_1 = \frac{800}{4} \cdot 0{,}4 = 80'; \quad p_2 = \frac{600}{4} \cdot 0{,}4 = 60';$$

$$d_F p = 60 - 80 = -20'.$$

Po tych przykładach, potwierdzających najzupełniej słuszność udowodnionych twierdzeń, nie będziemy przeprowadzali dalszej dyskusji otrzymanych wzorów (103) i (106), ponieważ jej przebieg byłby zupełnie taki sam, jak i w rozdziale 3c, zatem i wnioski byłyby te same. To też do tego rozdziału pozwalamy sobie odesłać czytelników, zaznaczając, iż w tym wypadku, podobnie jak w rozdziale 3d, tabela 4 i 4 bis oraz otrzymany z niej wniosek, są również ważne z powodu jednakowego kształtu wzorów (52) i (103) oraz (57) i (106).

c) **Błędy rozwarcia obliczonego *p* w zależności od błędów w pomiarże kąta pochylenia β.**

Weźmy teraz pochodną cząstkową równania (98) wzgledem β, zakładając, iż x i F są wartościami stałemi:

$$\frac{d_\beta \sin p}{\sin p} = \frac{d \sin \beta}{\sin \beta} \tag{108}$$

albo

$$\frac{\cos p \, . \, d_\beta p}{\sin p} = \frac{\cos \beta \, d\beta}{\sin \beta} \tag{109}$$

skąd

$$d_\beta p = \frac{\sin p}{\cos p} \, . \operatorname{ctg} \beta \, d\beta$$

czyli

$$d_\beta p = \operatorname{tg} p \, . \operatorname{ctg} \beta \, . \, d\beta \tag{110}$$

gdzie $d_\beta p$ oraz $d\beta$ są wyrażone w mierze łukowej (radjanach). A więc, **błąd w obliczeniu rozwarcia wskutek błędu w pomiarze kąta β jest proporcjonalny do błędu w pomiarze tego kąta, do cotangensa rzeczywistej wartości tego kąta oraz do tangensa rozwarcia istotnego.** Ponieważ tangens wzrasta wraz z kątem, a cotangens wzrasta gdy kąt maleje, to **błąd $d_\beta p$ jest tym większy, im większe jest rozwarcie p i im mniejszy jest kąt nachylenia β, gdyby nawet błąd $d\beta$ w pomiarze kąta pozostał bez zmiany.**

Albo: **te same błędy bezwzględne w kącie β wywołują tem większy wpływ na błąd rozwarcia p, im większe jest rozwarcie p oraz im mniejsze jest pochylenie β.**

A więc, im mniejsze pochylenie odległości F względem x, tym staranniej i dokładniej musimy wykonywać pomiar kąta β. Zmniejszając bowiem błąd $d\beta$, zmniejszamy również i błąd $d_\beta p$

(wz. 110). Znak plus po obu stronach wz. (110) wskazuje, iż **błąd ujemny (lub dodatni) pomiaru kąta β powoduje błąd tego samego znaku rozwarcia.** Celem potwierdzenia tych wniosków teoretycznych rozpatrzymy dwa przykłady liczbowe: 1) Gdy rozwarcie p ma wartość stałą, a β jest zmienne oraz 2) gdy rozwarcie p jest zmienne, a β — stałe i obliczymy, jaki w tych warunkach wywołuje wpływ na rozwarcie obliczone jednakowy błąd $d\beta$.

Przykład 42). Dobraliśmy takie dane liczbowe, by dla różnych pochyleń β uzyskać jednakowe rozwarcie. Obliczenia wykonujemy dokładnie przy pomocy wz. $\sin p = \frac{F}{x} \sin\beta$.

a) $F = 800$ m. $x = 2000$ m. $\beta = 300'$	$\sin p = \frac{800}{2000} . \sin 300' = 0{,}4 . \sin 300'$ $\lg \sin p = \bar{1}{,}06473$ $p = 118{,}52'$
b) $F = 417{,}85$ m. $x = 2000$ m. $\beta = 600'$	$\sin p = \frac{417{,}86}{2000} . \sin 600' = 0{,}2089 . \sin 600'$ $\lg \sin p = \bar{1}{,}06473$ $p = 118{,}52'$

Niech błąd popełniony w pomiarze kąta β wynosi w obu wypadkach $d\beta = -20'$.

Mamy zatem

a) $F = 800$ m. $x = 2000$ m. $\beta' = 280'$	$d\beta = -20'$	$\sin p' = \frac{800}{2000} \sin 280' =$ $= 0{,}4 . \sin 280'$. $\lg \sin p' = \bar{1}{,}0358$. $p' = 110{,}58'$.	$d_\beta p' =$ $= 110{,}58 - 118{,}52 =$ $= -7{,}94'$.
b) $F = 417{,}85$ m. $x = 2000$ m. $\beta'' = 580'$	$d\beta = -20'$	$\sin p'' = \frac{417{,}85}{2000} \sin 580' =$ $= 0{,}2089 . \sin 580'$. $\lg \sin p'' = \bar{1}{,}0517$. $p'' = 114{,}95'$.	$d_\beta p'' =$ $= 114{,}95 - 118{,}52 =$ $= -3{,}57'$.

A więc, przy tym samym rozwarciu ($p = 118{,}52^t$) jednakowy błąd bezwzględny ($d\beta = -20^t$) w pomiarze kąta β wywołał większy błąd rozwarcia $d_\beta p$ tam, gdzie kąt pochylenia β był mniejszy.

Zestawienie wyników.

			Błędy bezwzględne rozwarcia	Błędy względne rozwarcia
$p = 118{,}52^t$	$\beta = 300^t$	$d\beta = -20^t$	$d_\beta p = -7{,}94$	$\frac{d_\beta p}{p} = -6{,}7\%$
	$\beta = 600^t$		$d_\beta p = -3{,}57$	$\frac{d_\beta p}{p} = -3{,}0\%$

Przykład 43). Dane liczbowe są tak dobrane, by dla jednakowego nachylenia β uzyskać różne rozwarcia. Korzystamy przytem częściowo z danych przykładu pierwszego

a) $F = 800$ m. $x = 2000$ m. $\beta = 300^t$	$p = 118{,}52^t$ jak wyżej
b) $F = 400$ m. $x = 2000$ m. $\beta = 300^t$	$\sin p = \frac{400}{2000} \sin 300^t$ $\lg \sin p = \bar{2}{,}7634$ $p = 59{,}16^t$

Niech błąd w pomiarze kąta β wynosi znów $d\beta = -20^t$.

W tem założeniu otrzymamy

a) $F = 800$ m. $x = 2000$ m. $\beta = 280^t$	$p' = 110{,}58^t$ jak wyżej	$d_\beta p' = 110{,}58 - 118{,}52 = -7{,}94^t$
b) $F = 400$ m. $x = 2000$ m. $\beta = 280^t$	$\sin p'' = \frac{400}{2000} \sin 280^t$ $\lg \sin p'' = \bar{2}{,}7347$ $p'' = 55{,}32^t$	$d_\beta p'' = 55{,}32 - 59{,}16 = -3{,}64^t$

A więc, przy tym samym pochyleniu ($\beta = 300^t$) jednakowy błąd bezwzględny ($d\beta = -20^t$) w pomiarze kąta β wywołał większy błąd rozwarcia $d_\beta p$ tam, gdzie rozwarcie było większe.

Zestawienie wyników.

$\beta = 300^t$	$p = 118{,}52^t$	$d\beta = -20^t$	$d_\beta p = -7{,}94$
	$p = 59{,}16^t$		$d_\beta p = -3{,}64$

Rozwiązanie przykładów 42 i 43 przy pomocy wz. $p = \frac{F}{D} \sin\beta$ pozostawiamy czytelnikowi, a tymczasem przystąpimy do dalszego badania wz. (110).

Ze wzoru tego dzieląc obydwie strony przez p otrzymamy:

$$\frac{d_\beta p}{p} = \frac{\operatorname{tg} p}{p} \,.\, \operatorname{ctg}\beta \,.\, d\beta \tag{111}$$

gdzie kąty β i p są wyrażone w mierze łukowej (radjanach), a błąd $\frac{d_\beta p}{p}$ w ułamku właściwym. Jeżeli kąt p jest wyrażony w radjanach, to, jak wiadomo z trygonometrji, stosunek $\frac{\operatorname{tg} p}{p}$ gdy p maleje, dąży do jedności; ale nawet gdy $p = 300^t$, stosunek ten jest bliski jedności:

$$\frac{\operatorname{tg} 300^t}{300^t} = \frac{0{,}3033}{0{,}29452} = 1{,}0298,$$

a dla mniejszych kątów np. 200^t; 150^t wynosi

$$\frac{\operatorname{tg} 200^t}{200^t} = \frac{0{,}1988}{0{,}19635} = 1{,}0125$$

oraz

$$\frac{\operatorname{tg} 150^t}{150^t} = \frac{0{,}1483}{0{,}14726} = 1{,}0075$$

Widzimy więc, iż w granicach praktycznego zastosowania wzoru rozwarcia możemy przyjąć, iż

$$\frac{\operatorname{tg} p}{p} = 1 \tag{112}$$

błędy względne wskutek tego przybliżenia są niewielkie, to też nie mają znaczenia praktycznego; wynoszą one dla rozwarć istotnych 300,

200 i 150 tys. odpowiednio: —2,89; —1,23; —0,74 procent, a dla mniejszych rozwarć są jeszcze mniejsze.

Ze wzorów (111) i (112) otrzymujemy:

$$\frac{d_\beta p}{p} = \operatorname{ctg}\beta \, . \, d\beta \qquad (113)$$

Błąd względny rozwarcia wskutek błędu w pomiarze kąta β równa się w przybliżeniu ilorazowi z ctg β na błąd pomiaru kąta β. A więc **błąd względny rozwarcia wskutek jednakowego błędu** $d\beta$ **w pomiarze kąta β jest tym większy, im większy ctg β, czyli im pochylenie β jest mniejsze, gdyby nawet rozwarcie (istotne) było jednakowe** (p. przykład 42 zestawienie wyników rubryka 5).

We wzorze (113) błąd względny jest wyrażony w ułamku właściwym, błąd zaś $d\beta$ w mierze łukowej (radjanach).

Gdybyśmy chcieli błąd kątowy $d\beta$ wyrazić w tysięcznych zwykłych, to, ażeby otrzymać ten sam błąd w mierze łukowej, musielibyśmy [37]) $d\beta$ w tysięcznych zwykłych pomnożyć przez spółczynnik 0,00098175. Niech więc błąd w tysięcznych wynosi $d\beta^t$. Wówczas w mierze łukowej tenże błąd wyniesie:

$$d\beta = 0{,}00098175 \; d\beta^t \qquad (114)$$

Chcąc wyrazić błąd względny rozwarcia w procentach, co jest dogodne przy obliczeniach, musimy prawą stronę wzoru (113) pomnożyć przez 100. A zatem:

$$\left(\frac{d_\beta p}{p}\right)\% = 100 \operatorname{ctg}\beta \, . \, d\beta \qquad (115)$$

Ze wzorów (114) i (115) mamy:

$$\left(\frac{d_\beta p}{p}\right)\% = 100 . 0{,}00098175 \, . \operatorname{ctg}\beta \, . \, d\beta^t$$

albo:

$$\left(\frac{d_\beta p}{p}\right)\% = 0{,}098175 \operatorname{ctg}\beta \, . \, d\beta^t \qquad (116)$$

Otrzymaliśmy błąd względny rozwarcia w procentach w funkcji kąta β oraz błędu w pomiarze tego kąta, wyrażonego w tysięcznych zwykłych.

---

[37]) Spółczynniki przeliczenia p. artykuł „Miary kątowe".

Przykłady 44) dane przykładu 31.

$F = 500$ m.; $x = 4000$ m.; $\beta = 500^t$; $p_i = 60{,}02^t$.

Niechaj błąd w pomiarze kąta β wynosi $d\beta = -100^t$ (np. wskutek błędnego odczytu na kręgu kątomierza busoli)

$$\sin p' = \frac{500}{4000} \sin 400^t = 0{,}225 \,.\, 0{,}3827 = 0{,}04784; \quad \lg \sin p' = \overline{2}{,}6798;$$

$$p' = 48{,}75^t.$$

$$d_\beta p = 48{,}75 - 60{,}02 = -11{,}27^t.$$

A więc, błąd ujemny w pomiarze kąta β spowodował błąd tegoż znaku rozwarcia. Obliczmy teraz błąd względny rozwarcia w procentach

$$\left(\frac{d_\beta p}{p}\right)\% = -\frac{11{,}27}{60{,}02} \,.\, 100 = -18{,}78\%$$

Obliczenie tego błędu przy pomocy wzoru (116):

$$\left(\frac{d_\beta p}{p}\right)\% = 0{,}098175.\ \mathrm{ctg}\, 500^t\, (-100) = -9{,}8175.\ \mathrm{ctg}\, 500^t = -18{,}38\%$$

45) Sprawdźmy błędy względne obliczone w przykładzie 42 przy pomocy wzoru (116).

Otrzymaliśmy poprzednio w prz. 42a: $\frac{d_\beta p}{p} = -6{,}7\%$.

a ze wz. (116) mamy wynik bardzo bliski

$$\left(\frac{d_\beta p}{p}\right)\% = 0{,}098175.\ \mathrm{ctg.}\ 300^t.\ (-20) = -1{,}9635.\ \mathrm{ctg.}\, 300^t = -6{,}47\%$$

W przykładzie 42b mieliśmy: $\frac{d_\beta p}{p} = -3\%$

a przy pomocy wz. (116) otrzymujemy:

$$\left(\frac{d_\beta p}{d}\right)\% = 0{,}098175.\ \mathrm{ctg}\, 600^t.\ (-20) = -1{,}9635.\ \mathrm{ctg}\, 600^t = -2{,}94\%$$

Z powyższych przykładów widzimy, iż wyniki otrzymane przy pomocy wzoru (116) są bardzo zbliżone do rzeczywistych i potwierdzają z dostateczną ścisłością udowodniony wzór (116).

d) Błędy w obliczeniu rozwarcia wzorem ogólnym w zależności od jednoczesnych błędów w pomiarach x, F i β.

Sposób, który użyliśmy do uproszczenia wzoru (111), możemy zastosować i do wzorów (102) oraz (106).

Rzeczywiście, dzieląc obydwie strony wz. (102) przez p otrzymamy

$$\frac{d_x p}{p} = -\frac{\operatorname{tg} p}{p}\left(\frac{dx}{x}\right)$$

Skąd, biorąc pod uwagę wz. (112)

$$\frac{d_x p}{p} = -\frac{dx}{x} \tag{117}$$

Również i ze wz. (106) otrzymamy:

$$\frac{d_F p}{p} = \frac{\operatorname{tg} p}{p}\left(\frac{dF}{F}\right)$$

czyli na zasadzie wz. (112)

$$\frac{d_F p}{p} = \frac{dF}{F} \tag{118}$$

Wzory (117) i (118) są to wzory przybliżone, zupełnie takie same jak wz. (74). Dokładność ich, najzupełniej dla badań praktycznych wystarczającą, wykazaliśmy już w rozdziale 3 d.

We wstępie do rozdziału 7 zauważyliśmy, iż rozwarcie p jest we wzorze ogólnym funkcją trzech zmiennych: x, F i β. Przedtem odszukaliśmy już różniczki cząstkowe tej funkcji: wyrażają je wzory (102), (106) i (110). Niech dp oznacza różniczkę funkcji p, zaś $d_x p$, $d_F p$, $d_\beta p$ są, według przyjętych znakowań, różniczki cząstkowe tejże funkcji.

Wiemy, iż różniczka zupełna pewnej funkcji równa się sumie różniczek cząstkowych t. j. błąd, spowodowany błędami w pomiarze trzech parametrów x, F i β, równa się sumie błędów, spowodowanych błędem każdego z parametrów zosobna.

Mamy zatem:

$$dp = d_x p + d_F p + d_\beta p \tag{119}$$

Moglibyśmy teraz podstawić do powyższego wzoru wartości różniczek cząstkowych ze wzorów (102), (106), (110) i przeprowadzić dyskusję otrzymanego wyniku w podobny sposób, jak to zrobiliśmy ze wz. (68). Możemy jednak iść inną, prostszą drogą. Dzieląc obydwie strony wz. (119) przez p, otrzymamy:

$$\frac{dp}{p} = \frac{d_x p}{p} + \frac{d_F p}{p} + \frac{d_\beta p}{p} \tag{120}$$

co w związku ze wz. (117), (118) i (113) daje wzór, podobny do wz. (76)

$$\frac{dp}{p} = -\frac{dx}{x} + \frac{dF}{F} + \operatorname{ctg} \beta \, d\beta \tag{121}$$

We wzorze tym, błąd $d\beta$ jest podany w mierze łukowej. Chcąc obliczać błędy względne w procentach a błąd $d\beta$ w tysięcznych zwykłych musielibyśmy wziąć pod uwagę wz. (116) i napisać:

$$\frac{dp}{p}\% = -\frac{dx}{x}\% + \frac{dF}{F}\% + 0{,}098175 \,.\, \operatorname{ctg}\beta \,.\, d\beta^t. \qquad (122)$$

Trzeba pamiętać, iż są to wzory przybliżone.

Przykłady: 46)

$$F = 500 \text{ m.}; \; x = 4000 \text{ m.}; \; \beta = 500^t.$$

wówczas w/g obliczeń przykładu 31, mamy: $p_i = 60{,}02^t$.

Błędy popełnione:

$dx = -200$ m.		$x' = 3800$ m.
$dF = -100$ m.	a więc	$F' = 400$ m.
$d\beta = -100^t$		$\beta' = 400^t$.

$$\sin p' = \frac{400}{3800} \sin 400^t = 0{,}105 \,.\, 0{,}3827 = 0{,}04018;$$

$$\lg \sin p' = \bar{2}{,}6040; \; p' = 40{,}93^t$$

$$dp = 40{,}93 - 60{,}02 = -19{,}09^t, \text{ skąd:}$$

$$\left(\frac{dp}{p}\right)\% = -\frac{19{,}09}{60{,}02} \,.\, 100 = -31{,}81\%.$$

Obliczenie tego błędu przy pomocy wz. (122) jest ułatwione, ponieważ wyraz ostatni tego wzoru obliczyliśmy już w przykładzie 44:

$$+ 0{,}098175 \,.\, \operatorname{ctg} 500^t \,(-100) = -18{,}38\%$$

Zatem ze wz. (122):

$$\left(\frac{dp}{p}\right)\% = -\left(\frac{-200}{4000}\right) . \, 100 + \left(\frac{-100}{500}\right) 100 + (-18{,}38) =$$

$$= +5 - 20 - 18{,}38 = -33{,}38\%$$

wynik bliski do uzyskanego bezpośrednio.

47) Weźmy dane prz. 46 tylko niechaj błąd $d\beta = -20^t$.

$$F = 500 \; m; \; x = 4000 \; m; \; \beta = 500^t; \; p_i = 60{,}02^t.$$

Błędy popełnione:

$dx = -200 \; m$		$x' = 3800 \; m$
$dF = -100 \; m$	a więc	$F' = 400 \; m$
$d\beta = -20^t$		$\beta' = 480^t$

$$\sin p' = \frac{400}{3800} \cdot \sin 480' = 0{,}105 \cdot 0{,}45399 = 0{,}047669;\ \lg \sin p' = \bar{2}{,}6782;$$
$$p' = 48{,}52';$$

$$dp = 48{,}52 - 60{,}02 = -11{,}5';\ \left(\frac{dp}{p}\right)\% = -\frac{11{,}5}{60{,}02} \cdot 100 = -19{,}16\,\%$$

przy pomocy wz. (122) otrzymaliśmy:

$$\left(\frac{dp}{p}\right)\% = -\left(\frac{-200}{4000}\right) \cdot 100 + \left(\frac{-100}{500}\right) \cdot 100 + 0{,}098175 \cdot \operatorname{ctg} 500 \cdot (-20) =$$
$$= +5 - 20 - 1{,}9635 \cdot \operatorname{ctg} 500 = +5 - 20 - 3{,}67 = -18{,}67\,\%$$

wynik to bardzo zbliżony do otrzymanego przedtem.

Pamiętać jednakże trzeba, iż wzór (122) jest przybliżony, a więc może nieraz dać wyniki mniej dokładne, szczególnie przy dużych rozwarciach.

Rozdział 8. Błędy w obliczaniu rozwarcia przy zastosowaniach praktycznych wzoru $p = \frac{F}{D} \sin \beta$. Wnioski.

W rozważaniach rozdziału poprzedniego, podobnie jak w rozdziale 3, zakładaliśmy zawsze zgóry, iż przy pomiarach odległości x, F oraz kąta β popełniono określony błąd dx, dF i $d\beta$, a należy obliczyć odpowiedni błąd rozwarcia, wywołany temi błędami. Przy tem założeniu wyjaśniliśmy wpływ błędów w pomiarach na błędy rozwarcia. W rzeczywistości jednak popełniamy przypadkowe błędy pomiarów, których znaku ani wielkości zgóry przewidzieć nie jesteśmy w stanie, to też zgóry obliczyć w każdym poszczególnym wypadku błędów rozwarcia nie możemy. Jednakże, dzięki opracowaniom statystycznym, mamy możność podać błędy prawdopodobne, charakteryzujące dokładność każdego pomiaru [38]), a korzystając ze wzorów teorji błędów obliczyć błąd prawdopodobny rozwarcia.

Oznaczmy, podobnie jak w rozdziale 4, przez

ε_x — błąd prawdopodobny w pomiarze odległości x
ε_F — „ „ „ „ F
ε_β — „ „ „ kąta β
ε_{px} — „ „ w obliczeniu rozwarcia wskutek błędu w pomiarze odległości x
ε_{pF} — „ „ w obliczeniu rozwarcia wskutek błędu w pomiarze odległości F

[38]) Zwracamy się do Sz. Czytelników z prośbą o przeczytanie raz jeszcze początku rozdziału 4 (do wz. 77 wyłącznie) przed czytaniem rozdziału 8.

$\varepsilon_{p\beta}$ — „ „ w obliczeniu rozwarcia wskutek błędu w pomiarze kąta β

ε_p — „ „ w obliczeniu rozwarcia wskutek jednoczesnych błędów w pomiarze x, F i β.

Niechaj to będą błędy, prawdopodobne względne, a więc wyrażone w procentach rozwarcia (za wyjątkiem błędu ε_β, który wyrazimy w tysięcznych).

Na zasadzie wz. (117) i (118), rozumując podobnie jak w rozdz. 4 otrzymamy.

$$\left.\begin{array}{l}\varepsilon_{px} = \varepsilon_x \\ \varepsilon_{pF} = \varepsilon_F\end{array}\right\} \tag{123}$$

Wartości błędów prawdopodobnych ε_x i ε_F podaliśmy w rozdziale 4, a więc i wartości ε_{px} oraz ε_{pF} są nam znane.

Wyznaczmy teraz jak wielkie mogą być błędy prawdopodobne $\varepsilon_{p\beta}$ rozwarcia (względne) w procentach wskutek błędu w pomiarze kąta β? Ażeby to móc obliczyć, należy przedewszystkiem ustalić błąd prawdopodobny ε_β pomiaru kątów przy pomocy kątomierza-busoli. Jak wynika z doświadczeń, błąd prawdopodobny odczytu nastawy kątomierza przy pomiarze wynosi 1^t. Błąd prawdopodobny, wynikający z wadliwej budowy kątomierza również wynosi 1 tysięczną [39]. Zatem wartość błędu prawdopodobnego wskutek obu przyczyn wyniesie w myśl znanego twierdzenia z teorji błędów [40].

$$\varepsilon_\beta = \sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2} = 1{,}41421^t \tag{124}$$

Podstawiając tę wartość do wz. (116), otrzymamy wyraz błędu prawdopodobnego rozwarcia w procentach wskutek błędnego pomiaru kąta β:

$$\varepsilon_{p\beta} = 0{,}098175 \,.\, 1{,}41421 \operatorname{ctg}\beta = 0{,}13884 \operatorname{ctg}\beta,$$

skąd, zaokrąglając spółczynnik przy $\operatorname{ctg}\beta$, otrzymamy:

$$\varepsilon_{p\beta} = 0{,}14 \operatorname{ctg}\beta \tag{125}$$

wzór, wyrażający błąd prawdopodobny względny rozwarcia w procentach wskutek błędów przypadkowych w pomiarach kąta β. A więc błąd prawdopodobny względny rozwarcia $\varepsilon_{p\beta}$ jest tym większy, im pochylenie β jest mniejsze.

Ażeby móc wyciągnąć wnioski z powyższego wzoru zbadamy granice zmienności kąta pochylenia β. Teoretycznie kąt ten powinien się wahać między 0^t a 1600^t. W rzeczywistości rzecz ma się inaczej.

---

[39]) Marchand, l. c. III. str. 19 i 20.

[40]) Kopański l. c., str. 75.

Przedewszystkiem, gdy kąt β jest zawarty między 1600^t oraz 1400^t, to przyjmujemy praktycznie sin β = 1 (p. tabl. 9 rozdz. 5); zatem wzór $p = \frac{F}{D} \sin\beta$ zamienia się na $p = \frac{F}{D}$. A więc $\beta_{max} = 1400^t$.

Gdy kąt β jest zawarty między 0 i 25^t, to wzoru $p = \frac{F}{D} \sin\beta$ nie stosujemy z następujących przyczyn.

W zastosowaniach pierwszego rodzaju (rozdz. 5) t. j. przy budowie (układaniu) snopa, nie potrzeba wtedy brać pod uwagę „równoległości plutonu“, ponieważ nawet przy najbliżej położonym punkcie celowania w odległości 500 m. od działa kierunkowego i przy $\beta = 25^t$ dla odstępu równego 20 m. mamy: $p = \frac{20}{0{,}5} \sin 25^t = 40 . 0{,}025 = 1^t$, Bliższych punktów celowania unikamy, zatem gdy kąt $\beta < 25^t$ w takim razie $p < 1^t$, t. j. odpada jakakolwiek bądź poprawka kierunku, a więc i potrzeba stosowania wzoru rozwarcia $p = \frac{F}{D} \sin\beta$.

W „zastosowaniach drugiego rodzaju“ (rozdz. 5) t. j. przy skierowaniu baterji na dozór, gdy $\beta < 25^t$, nie stosujemy wzoru rozwarcia, ponieważ wówczas mamy obserwację prawie osiową, a więc używamy t. zw. „stosunku zmniejszenia“ (redukcji). Ostatecznie więc, mamy granice zmienności kąta β przy zastosowaniach wzoru $p = \frac{F}{D} \sin\beta$

$$\beta_{max} = 1400^t; \quad \beta_{min} = 25^t \tag{126}$$

Mając to na uwadze, nietrudno obliczyć odpowiednie błędy prawdopodobne względne rozwarcia w procentach wskutek błędów w pomiarze, kąta pochylenia β. Obliczenia, wykonane przy pomocy wzoru (125), zestawiliśmy w tabeli 12 p., str. 149.

Jak wiadomo z teorji błędów największy możliwy błąd (w jedną lub drugą stronę) równa się z dostateczną dla praktyki ścisłością czterokrotnemu błędowi prawdopodobnemu (p. rys. 5). A więc, np. dla kąta $\beta = 1400^t$ największy błąd wyniesie $0{,}03 . 4 = 0{,}12\%$, a dla kąta $\beta = 500^t$ odpowiednio $0{,}26 . 4 = 1{,}04\%$ rozwarcia. Ponieważ największe rozwarcie, przy którym stosujemy w praktyce wzór $p = \frac{F}{D} \sin\beta$ wynosi 300^t, to największe możliwe błędy dla pochyleń 1400 — 500 będą:

$$300^t . 0{,}12\% = 0{,}36^t; \quad 300^t . 1{,}04\% \cong 3^t.$$

W praktyce możemy je uważać za równe zeru, ponieważ na-

Tabela 12.

Pochylenie β w tysięcznych	Błąd prawdopodobny $\varepsilon_{p\beta}$ (względny) rozwarcia w procentach
1400	0,03
1000	0,10
500	0,26
150	0,95
70	2,03
45	3,17
35	4,07
25	5,73

wet przy $p_{max} = 300^t$ zaledwie osiągają wartość jednych wideł w kierunku. A zatem i odpowiednie błędy prawdopodobne uważać będziemy również za zera.

Z tabeli 12 wynika ponadto, iż dla pochyleń $500 - 150^t$; $150 - 70^t$; $70 - 45^t$; $45 - 35^t$; $35 - 25^t$ błędy prawdopodobne rozwarcia w procentach wynoszą w okrągłych liczbach odpowiednio 1%, 2%, 3%, 4% i 4 — 6%. Na zasadzie powyższych uwag możemy ułożyć tabelę, w której błędy prawdopodobne są, w myśl przyjętych uproszczeń, odpowiednio zaokrąglone. Będzie ona dogodniejszą do dalszych rozważań od tabeli 12.

Tabela 13.

pochylenie β w tysięcznych	Błąd prawdopodobny (względny) rozwarcia w procentach	Sposoby pomiaru odległości *F* i *x* (*D*) dające te same błędy prawdopodobne rozwarcia (p. rozdz. 4 i marginesy tab. 5)
od 1400 do 500	0	Taśmą mierniczą
„ 500 „ 150	1	Dalmierzem (do 2 km.)
„ 150 „ 70	2	Mapą (duże odległości), krokami
„ 70 „ 45	3	Stadymetrycznie
„ 45 „ 35	4	Mapą (małe odległości)
„ 35 „ 25	4 — 6	Dalmierzem (do 8 — 12 km.)

W ostatniej rubryce tabeli powyższej umieściliśmy dla porównania sposoby pomiarów odległości *F* i *x* (*D*), które w wyniku dają

te same błędy prawdopodobne (względne) rozwarcia, co i pomiar kątomierzem kąta β.

Z tabeli 13 widać, iż **kątomierz — busola, jako pomoc przy obliczaniu rozwarcia** $\left(\text{wzorem } p = \frac{F}{D} \sin\beta\right)$, **jest przyrządem dostatecznie dokładnym, dającym taką ścisłość, jaką wogóle można osiągnąć przy najlepszych sposobach pomiaru odległości, możliwych przy obliczaniu rozwarcia w „pobieżnem" przygotowaniu ognia.**

Przypuśćmy, iż przy obliczeniu rozwarcia popełniamy błędy we wszystkich pomiarach, a więc jak odległości x i F tak i kąta β. Ponieważ, jak wiadomo z teorji błędów [41]), błędy prawdopodobne sumują się geometrycznie, to błąd prawdopodobny, jakim obarczony jest wynik obliczenia rozwarcia będzie się równał:

$$\varepsilon_p = \sqrt{\varepsilon_{px}^2 + \varepsilon_{pF}^2 + \varepsilon_{p\beta}^2} \qquad (127)$$

albo w związku ze wz. (123):

$$\varepsilon_p = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_F^2 + \varepsilon_{p\beta}^2} \qquad (128)$$

Wartości błędów ε_x oraz ε_F, zależnych od sposobu pomiarów, podaliśmy już w rozdziale 4. Wartość błędu $\varepsilon_{p\beta}$ podaje tabela 13. Dzięki tym danym możemy obliczyć wartości ε_p przy pomocy wz. (128). W wyniku otrzymaliśmy liczby tabeli 14; układ jej jest taki sam jak tabeli 6.

Tabela 14—|p. str, 151.

Z dokładnego rozpatrzenia tabeli 14 wynikają wnioski następujące. Błąd prawdopodobny rozwarcia w najgorszych warunkach (sposób 9) przy zastosowaniu wzoru $p = \frac{F}{D} \sin\beta$ [42]) osiąga 14—23% rozwarcia. Dokładność tego sposobu jest, oczywiście, niewystarczająca, gdyż błędy w kierunku mogą osiągnąć nawet 42—69% rozwarcia (z prawdopodobieństwem 0,82, co wynika z rozpatrzenia skali błędów (rys. 5).

Sposoby 8, 7 i 6 są wprawdzie dokładniejsze od sposobu 9, jednakże błędy prawdopodobne wahają się w granicach 10,2—21,5% t. zn. iż błędy te są jeszcze za duże. Przy tych sposobach zbyt przybliżone pomiary odległości F i x (t. j. D) znoszą dokładność, uzyskaną przy pomocy pomiaru kąta β kątomierzem.

---

[41]) Kopański, Ibidem.

[42]) ściślej wz. $\sin p = \frac{F}{x} \sin\beta$.

T a b e l a 14.

L. p.	Sposób pomiaru odległości				Błędy prawdopodobne ε_p rozwarcia (pomiar β kątomierzem) wskutek błędów w pomiarach F, x, β przy kątach pochylenia β w tysięcznych					
	F metrów		x metrów $= D$ kilometrów		1400—500	500—150	150—70	70—45	45—35	35—25
					P r o c e n t y					
	1		2		3	4	5	6	7	8
		ε_F		ε_x	$\varepsilon_{p\beta} = 0$	$\varepsilon_{p\beta} = 1\%$	$\varepsilon_{p\beta} = 2\%$	$\varepsilon_{p\beta} = 3\%$	$\varepsilon_{p\beta} = 4\%$	$\varepsilon_{p\beta} = 6\%$
1	Taśmą mierniczą . . .	0	z mapy	2—5%	2—5	2,2—5,1	2,8—5,4	3,6—5,8	4,5—6,4	6,3—7,8
2	krokami . .	2%	"	"	2,8—5,4	3 —5,5	3,5—5,7	4,1—6,2	4,9—6,7	6,6—8,1
3	stadymetrycznie . . .	3%	"	"	3,6—6	3,7—5,9	4,1—6,2	4,7—6,6	5,4—7,1	7,0—8,4
4	z mapy . . .	5%	"	"	5,4—7,1	5,5—7,1	5,7—7,3	6,2—7,7	6,7—8,1	8,1—9,3
5	na oko . . .	10%	"	"	10,2—11,2	10,2—11,2	10,4—11,4	10,6—11,6	10,9—11,9	11,8—12,7
6	krokami . .	2%	na oko	10—20%	10,2—20,1	10,2—20,1	10,4—20,2	10,6—20,3	10,9—20,5	11,8—21,5
7	stadymetrycznie . . .	3%	"	"	10,4—20,2	10,5—20,2	10,6—20,3	10,9—20,4	11,2—20,6	12,0—21,1
8	z mapy . . .	5%	"	"	11,2—20,6	11,2—20,6	11,4—20,7	11,6—20,8	11,9—21,0	12,7—21,5
9	na oko . . .	10%	"	"	14,1—22,4	14,2—22,4	14,3—22,4	14,5—22,6	14,7—22,7	15,4—23,2

U w a g a: Ponieważ dla kątów β od 1400′ do 500′ błąd prawdopodobny względny rozwarcia $\varepsilon_{p\beta}$ przyjęliśmy za zero, to rubryka 3 tej tabeli zawiera te same liczby co i tabela 6.

Widzimy więc, iż nie opłaca się mierzyć kąta β kątomierzem, skoro F mierzymy stadymetrycznie, albo krokami a odległość x (t. j. D) na oko (spos. 6 i 7), szczególnie przy małych kątach pochylenia: lepiej jest poprostu stosować wzór $p = \frac{F}{D}$. [43]). Nieco dokładniejszym od rozpatrzonych sposobów jest piąty, dający błędy prawdopodobne w granicach 10,2 — 12,7 %.

Pozostają jeszcze najdokładniejsze sposoby 1, 2, 3 i 4. Błędy prawdopodobne, wahające się przy tych sposobach, w granicach 2 — 7,8; 2,8 — 8,1; 3,6 — 8,4; 5,4 — 9,3 % są to stosunkowo nieduże, a w porównaniu do najgorszego sposobu 9, są przeciętnie od 3 do 7 razy mniejsze.

Co do sposobu 4 pomiarów musimy zauważyć, iż b. często stosując go unikniemy zupełnie używania wzoru $p = \frac{F}{D} \sin \beta$, mierząc kąt p bezpośrednio przenośnikiem z mapy. Zresztą w zastosowaniach drugiego rodzaju w tym wypadku skierujemy działo kier. na dozór sposobem innym, bardziej prostym [44]). Istotnie, do wykonania sposobu 4, jest niezbędne naniesienie na mapie trzech punktów: działo kierunkowe, dozór i punkt obserwacyjny. Tymczasem wystarczy mieć 2 pierwsze punkty na mapie, ażeby przy pomocy zdeklinowanego kątomierza — busoli skierować działo na dozór; albo 3 punkty: działo kierunkowe, punkt celowania i dozór, ażeby skierowanie wykonać „przenośnikiem". Z tabeli 14, wynika jeszcze, iż przy kątach pochylenia od 1400′ do 500′ i każdym sposobie pomiaru, a przy każdym pochyleniu dla sposobów 5 — 9, błąd prawdopodobny w pomiarze kąta β nie wywiera (z dostateczną dla praktyki ścisłością) żadnego wpływu na błąd prawdopodobny rozwarcia.

Jeżeli jednak chodzi o cztery pierwsze sposoby, to, gdy pochylenie β maleje, błędy prawdopodobne rozwarcia wzrastają i np. przy pochyleniu 35 — 25′ są od 3 do $1^1/_2$ raza większe niż przy pochyleniu 1400 — 500′.

Reasumując wnioski powyższe i biorąc pod uwagę błędy, wynikające z niedokładności samego wzoru $p = \frac{F}{D} \sin \beta$ (p. rozdział 6), przyjdziemy ostatecznie do wniosku, iż w praktyce należy unikać

---

[43]) ten wniosek uzyskaliśmy już **a priori** w dyskusji wzorów 85 i 86 (rozdział 5).

[44]) p. uwagę o sposobie 4 przy omawianiu tabeli 5 (rozdział 4).

zastosowania wzoru $p = \frac{F}{D} \sin \beta$ (szczególnie przy małych β) i posługiwać się wzorem $p = \frac{F}{D}$.

Jest to możliwe, ponieważ można tak postąpić zawsze w zastosowaniach pierwszego rodzaju, a częstokroć i drugiego.

Na zasadzie tabeli 14 moglibyśmy obliczyć nową tabelę, postępując tak, jak przy obliczaniu liczb tabeli 6_{bis}. Obliczenia tego dosyć żmudnego (432 nowe liczby) wykonywać jednak nie będziemy, ponieważ wnioski, którebyśmy otrzymali w wyniku byłyby podobne do uzyskanych przy badaniu tabeli 6_{bis}; przemawiałyby jednak na niekorzyść wzoru $p = \frac{F}{D} \sin \beta$ (podobnie zresztą jak tabela 14 w porównaniu do 6).

Jak wynika z rozdziału 4 i 8 podstawą do naszych obliczeń była statystyka pomiaru odległości zapomocą różnych sposobów, które można używać w pobieżnem przygotowaniu ognia. Mając podane błędy prawdopodobne tych pomiarów, obliczone na zasadzie danych doświadczalnych, uzyskaliśmy rachunkiem, a więc **pośrednio**, błędy prawdopodobne rozwarcia. Nie twierdzimy bynajmniej, aby te liczby były bezwzględnie dokładne. Z istoty i rodzaju pomiarów wynika, iż są to raczej liczby orjentacyjne. Umożliwiły one jednak wyprowadzenie logicznie wniosków i dały możność porównania wzajemnej dokładności w obliczeniu rozwarcia przy różnych sposobach pomiaru odległości F i D.

Uważamy, iż ostatnie słowo w tej sprawie należy do zasłużonej Szkoły Strzelania Artylerji, która po opracowaniu swych licznych danych doświadczalnych, mogłaby uzyskać **bezpośrednio** błędy prawdopodobne przy obliczeniu rozwarcia w pobieżnem przygotowaniu ognia.

Byłoby wówczas niezmiernie interesującem porównać liczby, uzyskane przy pomocy obu metod.

Rozdział 9. Zakończenie.

W rozdziałach powyższych rozpatrzyliśmy wszelkie zagadnienia teoretyczne, związane z błędami, popełnianemi przy zastosowaniu wzorów

$$p = \frac{F}{D} \quad \text{oraz} \quad p = \frac{F}{D} \sin \beta .$$

Istnieją ponadto następujące wzory pochodne

$$F = pD;\ D = \frac{F}{p} \tag{126}$$

oraz

$$F = \frac{pD}{\sin\beta};\ D = \frac{F\sin\beta}{p} \tag{127}$$

Z pośród nich należałoby rozpatrzeć jedynie wzory (126), jako mające znaczenie praktyczne t. j. wypadki, gdy obliczamy F (albo D), a inne parametry, są zmierzone lub znane.

Należałoby przytem wykazać, jaki wpływ na wynik obliczenia F (albo D) wywierają błędy w pomiarze p i D (albo p i F).

Wzorując się na danych liczbowych oraz na sposobach dowodzenia, zastosowanych w pracy niniejszej, nietrudno jest rozważań tych dokonać.

Jednakże rozmiary artykułu nie pozwalają nam na poruszenie tego zagadnienia. Śmiemy przypuszczać, iż ci z czytelników, których sprawa ta interesuje, sami zechcą to uskutecznić i być może, podać otrzymane wyniki do wiadomości ogółu.

DODATEK.

Dwa wzory do obliczania rozwarcia w decygradusach.

W praktyce polowej (np. w baterjach, uzbrojonych w 120 mm arm. ciężk. wz. 1878) zachodzi nieraz potrzeba wyznaczania rozwarcia bezpośrednio w decygradusach. W tych razach nie można, oczywiście użyć wzoru

$$p^{t.\ zw} = \frac{F}{D}\ \frac{[\text{metry}]}{[\text{kilometry}]} \tag{6}$$

skoro się zauważy [45]), iż $1^{dcgr} = 1{,}6^{\ t.\ zw.}$ czyli $1^{t.\ zw.} = \frac{1}{1{,}6}^{\ dcgr}$

Łatwo jednak można wyprowadzić odpowiedni wzór. Rzeczyczywiście, ponieważ kąt pełny zawiera

$$2\pi \text{ radjanów} = 4000^{dcgr}$$

to

$$1 \text{ radjan} = \frac{4000}{2\pi} = \frac{2000}{\pi} \text{ decygradusów.}$$

Rozwarcie w radjanach („mierze łukowej") wynosiło (rozdz. 1)

$$p\ [\text{radjanów}] = \frac{F}{x}\ \frac{[\text{metry}]}{[\text{metry}]} \tag{3}$$

[45]) p. Tab. 4 artykułu „Miary kątowe".

Zatem rozwarcie w decygradusach:

$$p^{dcgr} = \frac{F}{x} \cdot \frac{2000}{\pi} = \frac{F}{\frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{1000}} \tag{128}$$

ale ponieważ (rys. 1)

$$OB = x \text{ metrów} = D \text{ kilometrów}$$

to

$$1000\,D = x$$

czyli

$$D = \frac{x}{1000} \tag{129}$$

ze wzorów (128) i (129) wynika

$$p^{dcgr} = \frac{F}{\frac{\pi}{2} \cdot D} \tag{130}$$

gdzie zatem F jest wyrażone w metrach, a D w kilometrach. Ponieważ

$$\pi = 3{,}14159$$

to

$$\frac{\pi}{2} = 1{,}57079$$

a więc

$$p^{dcgr} = \frac{F}{1{,}57079\,D} \tag{131}$$

czyli w przybliżeniu:

$$p^{dcgr} = \frac{F}{1{,}6\,D} \; \frac{[\text{metry}]}{[\text{kilometry}]} \tag{132}$$

Jest to pierwszy wzór do obliczania rozwarcia w decygradusach. Wzór ten jest podany w polskich wydaniach tabel strzelniczych 155 mm hb. wz. 1917 (str. 3) i 120 mm a. c. wz. 1878 (str. 3). Udowodniliśmy go, opierając się na wzorze ścisłym i dopiero wynik ostateczny zaokrągliliśmy. Można jednak wzór ten uzyskać odrazu ze wzoru przybliżonego (6).

Rzeczywiście, niechaj rozwarcie w tysięcznych wynosi

$$p^{t.\,zw.} = \frac{F}{D} \frac{[\text{m}]}{[\text{km}]}$$

Ale

$$1^{t.\,zw.} = \frac{1}{1{,}6} \text{ dcgr.},$$

a więc to **samo** rozwarcie w decygradusach wyniesie

$$p_1^{dcgr} = \frac{F}{D} \cdot \frac{1}{1{,}6} \cdot = \frac{F}{1{,}6\,D} \; \frac{[\text{m}]}{[\text{km}]},$$

ponieważ **ten sam kąt**, zawierający $\left(\frac{F}{D}\right)^{t.\ zw.}$ musi zawierać **1,6 razy mniej** decygradusów, jako jednostki 1,6 razy większej od tysięcznej (zwykłej), t. j. otrzymaliśmy w inny sposób wzór (132). Ze wzoru wynika następujące prawidło: **ażeby otrzymać rozwarcie w decygradusach, należy front w metrach podzielić przez odległość w kilometrach, 1,6 razy większą od ocenionej (rzeczywistej).**

W wielu zagadnieniach np. w „zastosowaniach pierwszego rodzaju" — (p. rozdz. 4) odległość F mierzy się t. zw. „podwójnemi krokami". (t. j. liczy się kroki — co drugi krok). Dzięki temu można jeszcze bardziej uprościć wz. 132. Jeżeli przyjąć średni krok, równy 80 cm. w terenie płaskim [45]), to

$$1 \text{ podwójny krok} = 1{,}6 \text{ m.}$$

skąd

$$1 \text{ m.} = \frac{1}{1{,}6} \text{ podw. kroków}$$

czyli

$$F \text{ m.} = \frac{F}{1{,}6} \text{ podw. kroków} \tag{134}$$

oznaczając ten ułamek przez f otrzymamy

$$F \text{ m.} = f \text{ podw. krok.} = \frac{F}{1{,}6} \text{ podw. kroków} \tag{135}$$

Ponieważ jednak (wz. 132)

$$p^{dcgr} = \frac{F}{1{,}6\,D} = \frac{\frac{F}{1{,}6}}{D}$$

to, na zasadzie wz. (134) i (135) otrzymamy:

$$p^{dcgr.} = \frac{f}{D}\ \frac{[\text{podwójne kroki}]}{[\text{kilometry}]} \tag{136}$$

Jest to drugi wzór na obliczanie rozwarcia w decygradusach. Wynika z niego następujące prawidło: **Ażeby obliczyć rozwarcie**

---

[45]) Jest to średnia wartość kroku mężczyzny (wiek 21 lat) w terenie płaskim, na zasadzie wieloletnich doświadczeń niemieckich (W. Jordan. Handbuch d. Vermessungskunde. T. II str. 81 sq. wyd. 1914). Odpowiada to średniemu wzrostowi 1,7 m. Ekstrapolacją danych Jordana uzyskaliśmy, iż nasz krok regulaminowy (75 cm.) odpowiadałby wzrostowi sredniemu 1,45 m. (Jordan Ibid. i Reg. piech. 1921 cz. 1 art. 87 . $\frac{P\,1}{1921}$).

w decygradusach, należy front (odstęp) w krokach podwójnych podzielić przez odległość w kilometrach.

Wzory (6), (132) i (136) można, oczywiście, stosować pod warunkiem gdy F jest prostopadłe (lub prawie prostopadłe) do D [47]). W razie przeciwnym należy rozwarcia, uzyskane z tych wzorów, pomnożyć przez sinus kąta pochylenia (p. cz. II nin. pracy) albo w poszczególnych wypadkach powiększyć odpowiednio odległość D w mianowniku (p. tab. 9_{bis}).

Uwaga. Przy obliczeniach, wykonanych w pracy niniejszej, korzystałem z następujących tabel:

1. Tablice logarytmów dla użytku artylerji. Wydanie Ob. Szk. Art. Toruń 1926 r.
2. E. Przewalskij. Pięciocyfrowe tabele logarytmów (ros. wyd.) Moskwa 1909.
3. L. Potin. Formules et tables numériques. Paryż 1925.
4. J. Peters. Neue Rechentafeln. Berlin—Lipsk 1919.
5. Inż. O'Rourk. Tabele mnożenia (ros. wyd.) Petrograd 1915.

Źródła, z których korzystałem, są podane w odnośnikach na odpowiedniem miejscu.

---

[47]) kąt pochylenia β musi w tym wypadku spełniać warunek: $1300' \leqslant \beta \leqslant 1600'$ (p. tab. 9).

Płk. inż. NIEWIADOMSKI PAWEŁ.

TEORJĄ I OBLICZENIE POWROTNIKÓW DZIAŁ ARTYLERYJSKICH.

Na wstępie muszę zaznaczyć, że budowa powrotników dział artyleryjskich jest zasadniczo nauką doświadczalną; wzory matematyczne stosowane przy obliczaniu powrotników, jako najprostszy sposób przedstawienia zjawisk fizycznych, zachodzących w powrotnikach, dają możność otrzymać pewne dane liczbowe, które jednak nie mogą być bezpośrednio i bezkrytycznie stosowane w praktyce, — jest więc rzeczą konieczną wszelkie dane teoretyczne sprawdzać za pośrednictwem bardzo licznych doświadczeń, zwłaszcza wówczas, gdy idzie o jakiś nowy sposób budowy powrotnika.

Powrotnik jako przyrząd, który nagromadza część energji odrzutu w postaci takiej, jakaby pozwalała mu po ukończonym odrzucie zużytkować ją celem szybkiego dosyłania lufy do jej położenia normalnego przed strzałem, powinien być urządzony tak, aby mógł:

1) zapewnić lufie jej normalne położenie przy największych kątych podniesienia, gdy dąży ona pod wpływem swego ciężaru do cofnięcia się wstecz, oraz

2) zapewnić przy każdym kącie podniesienia szybkie dosyłanie lufy do jej położenia przed strzałem.

Aby utrzymać lufę w pozycji bojowej przy największych kątach podniesienia α_m, dopuszczalnych dla danego sprzętu trzeba, aby suma przeciwstawiających się temu ruchowi sił, a więc wynik działania początkowego naprężenia F_0 w powrotniku, tarcia $f\,G_r \cos\alpha_m$ wzdłuż wodzideł i tarcia $\varepsilon\,G_r$ [1]) powstającego w uszczelnieniach

---

[1]) A.J. Negretto i A. J. Galleja Lecciones de resistencia y calculo de Montajes, str. 151. Segovia 1925.

J. Challéat et A. Thomas, uwzględniając tarcie w uszczelnieniach, przyjmują F_0=0,8 Gr „Mécanique des Affûts" str. 38. Paris 1924.

opornika i powrotnika był większy od składowej wagi zespołu odrzutowego

$$F_0 + f G_r \cos \alpha_m + \varepsilon G_r \geqslant G_r \sin \alpha_m$$

skąd

$$F_0 \geqslant G_r (\sin \alpha_m - f \cos \alpha_m - \varepsilon) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

gdzie G_r oznacza ciężar zespołu odrzutowego; co się tyczy spółczynników f i ε, to f jak wskazuje doświadczenie jest nie większe od 0,3, a ε w sprawnie działających powrotnikach nie przekracza 0,1.

Aby zadość uczynić warunkowi zapewnienia przy każdym kącie podniesienia dosłania lufy po strzale do jej położenia początkowego, trzeba aby wysiłek końcowy F_1 powrotnika, któremu przeciwstawia się w danym wypadku składowa wagi zespołu odrzutowego, tarcie na wodzidłach i tarcie w uszczelnieniach opornika i powrotnika

$$F_1 \geqslant G_r (\sin \alpha_m + f \cos \alpha_m + \varepsilon) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Jeżeli będziemy uważali składową ciężaru zespołu odrzutowego, tarcie na wodzidłach i tarcie w uszczelnieniach za opory bierne

$$R_b = G_r (\sin \alpha_m + f \cos \alpha_m + \varepsilon) L \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2 \text{ bis})$$

to praca pochłonięta przez te opory przy powrocie po strzale pod kątem α_m wyniesie $R_b L = G_r (\sin \alpha_m + f \cos \alpha_m + \varepsilon) L$ gdzie L jest długością odrzutu.

Powrotniki stosowane w obecnych sprzętach artyleryjskich możemy podzielić zależnie od ich urządzenia na: *powrotniki pneumatyczne, powrotniki sprężynowe i powrotniki gumowe.*

A. POWROTNIK PNEUMATYCZNY.

Najprostszym powrotnikiem pneumatycznym byłby powrotnik, składający się z tłoka z tłoczyskiem i cylindra, napełnionego powietrzem lub wogóle gazem, który podczas odrzutu pozostawałby ściśnięty między dnem cylindra, a tłokiem z tej lub innej strony, zależnie od tego, czy cylinder jest przymocowany do lufy lub też do łoża.

Aby uniknąć specjalnie trudnego do należytego urzeczywistnienia uszczelnienia pomiędzy powietrzem ściśniętem po jednej stronie tłoka, a powietrzem pod ciśnieniem atmosferycznem po drugiej stronie, tłok zazwyczaj działa na ciecz, która ściska gaz zawarty w powrotniku; o ile płaszczyzna podziału cieczy i gazu jest normalną do osi powrotnika, wprowadza się pomiędzy ciecz a gaz specjalną przeponę np. w arm. 75 mm wz. 1897, zapomocą kórej ciecz ciśnie na gaz; o ile

zaś ta płaszczyzna jest poziomą, przepony tej niepotrzeba i ciecz wówczas ciśnie bezpośrednio na gaz (sprzęt syst. Vickers'a, Schneidra, oraz niektórych dział niemieckich, np. moździerz 21 cm i t. d.).

Powrotnik powietrzny może być połączony z opornikiem tworząc wspólny przyrząd znany pod nazwą oporo-powrotnika hydropneumatycznego (75 mm arm. wz. 1897), lub też tworzyć organ niezależny od opornika (sprzęt art. ciężkiej syst. Schneidra).

Szczególną uwagę w powrotniku pneumatycznym należy zwrócić na uszczelnienie jak części ruchomych, tak i nieruchomych, co stanowi zadanie bardzo trudne do należytego rozwiązania, gdyż z jednej strony trzeba zapewnić bezwzględną szczelność, z drugiej zaś uniknąć zbyt dużych sił tarcia.

Przy obliczaniu powrotnika musimy wychodzić z założenia wymagań, stawianych powrotnikowi, a mianowicie, aby lufa utrzymywana była w miejscu w położeniu bojowem, oraz aby powracała ona szybko i bez uderzenia do tegoż położenia po ukończonym odrzucie.

Przypuśćmy, że przekrój cylindra powrotnika wynosi:

$S = \frac{\pi D^2}{4} \cdot m^2$ i że objętość powietrza w cylindrze powrotnika przy normalnem położeniu zespołu odrzutowego przed strzałem, (lufa — w położeniu bojowem) jest v_0 m^3.

Podczas odrzutu, gdy występuje przesunięcie odpowiednich części powrotnika (cylindra lub tłoka, zależnie od tego, czy cylinder jest przymocowany do lufy lub też do łoża) na długość przypuśćmy L metrów, początkowa objętość v_0 powietrza w cylindrze powrotnika zostaje ściśnięta do objętości:

$$v_1 = v_0 - S L \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (4)$$

Powstaje przy tem pytanie, jakie zjawiska zachodzą tu przy ściskaniu powietrza, podczas odrzutu masy odrzutowej, oraz przy rozprężeniu powietrza podczas jej powrotu.

Przebieg tych zjawisk jest tak gwałtowny, że oddanie ciepła nazewnątrz występuje tu jedynie w bardzo ograniczonym stopniu, a więc zjawiska te zbliżają się raczej do zjawisk adjabatycznych, niż izotermicznych.

A ponieważ adjabatyczny stan powietrza można przedstawić w postaci:

$$p\, v^{1,41} = \text{const.}$$

a izotermiczny stan — w postaci

$$p\ v = \text{const.}$$

to istotny stan zjawisk w powrotniku pneumatycznym, jako stan raczej adjabatyczny, niż izotermiczny możemy przyjąć w postaci pośredniej np.

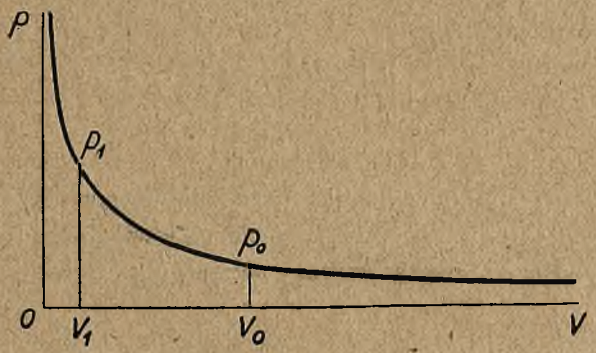
$$p\ v^{1,3} = \text{const.}$$

Jednak ze względu na to, że konstruktorzy zazwyczaj w swych obliczeniach uwzględniają różne wartości wykładnika potęgi przy v, przyjmiemy go w naszych dalszych rozważaniach w postaci ogólnej

$$p\ v^{\gamma} = \text{const.}$$

gdzie γ jest w granicach od 1 do 1,41.

Wzór ten możemy przedstawić też w postaci wykresu, rys. 1.



Rys. 1.

rys. 1.

Niech stosunek, który zachodzi pomiędzy początkową objętością v_0 powietrza w powrotniku, a jego objętością v_1 po odrzucie zespołu odrzutowego i przesunięciu odpowiednich części powrotnika na długość L, będzie

$$\frac{v_0}{v_1} = \beta$$

gdzie β jest w granicach od 1,5 do 3 [2]); przy większych znaczeniach β występuje trudność urzeczywistnienia wymaganej od łoża stateczności przy strzale).

---

[2]) A. J. Negretto et A. J Gallea: „Lecciones de resistencia y calculo de montajes", str. 157. Segovia 1925.

Ponieważ

$$p_0 v_0^\gamma = p_1 \; v_1^\gamma$$

to

$$p_1 = \left(\frac{v_0}{v_1}\right)^\gamma p_0 = \beta^\gamma . p_0$$

a praca wykonana przez ściśnięte w tym wypadku powietrze

$$A_L = \int_{v_1}^{v_0} p d v = \int_{v_1}^{v_0} p_0 v_0^\gamma \, v^{-\gamma} \, d v = p_0 v_0^\gamma \int_{v_1}^{v_0} v^{-\gamma} d v = \frac{p_0 v_0^\gamma}{1-\gamma} (v_0^{1-\gamma} - v_1^{1-\gamma}) =$$

$$= \frac{p_0 v_0^\gamma}{\gamma - 1} \left(v_1^{1-\gamma} - v_0^{1-\gamma}\right) = \frac{p_0 v_0^\gamma}{\gamma - 1} \times \left(\frac{v_0^{1-\gamma}}{\beta^{1-\gamma}} - v_0^{1-\gamma}\right)$$

czyli

$$A_L = \frac{p_0 v_0}{\gamma - 1} (\beta^{\gamma - 1} - 1) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

Biorąc pod uwagę, że

$$v_0 = SL \frac{\beta}{\beta - 1} \text{[3]} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (6)$$

oraz

$$Sp_0 = F_0 .$$

Otrzymamy pracę wykonaną przez powrotnik niezależny od opornika, podczas odrzutu i przesunięcia odpowiednich części powrotnika na długość L i początkowem naprężeniu powietrza F_0 w postaci:

$$A_L = F_0 \frac{L}{\gamma - 1} . \frac{\beta}{\beta - 1} (\beta^{\gamma - 1} - 1) \quad . \; . \; . \; . \quad (7)$$

Wartości liczbowe $\beta^{\gamma-1}$ i β^γ dla różnych wartości β i γ podane są w Tabeli I[4]). (str. 163).

Biorąc pod uwagę, że wielkość β w nawiasie wzoru (7) odpowiada $\frac{v_0}{v_1}$ czyli przesunięciu odpowiednich części powrotnika na długość L, i jeżeli przy długości odrzutu l stosunek pomiędzy objętością początkową powietrza w powrotniku, a jego objętością końcową wynosi $\frac{v_0}{v}$, końcowe naprężenie powietrza w powrotniku będzie

$$F_l = F_0 \left(\frac{v_0}{v}\right)^\gamma = F_0 \left(\frac{v_0}{v_0 - Sl}\right)^\gamma =$$

---

[3]) $v_1 = v_0 - SL$; $\frac{v_0}{v_1} = \frac{v_0}{v_0 - SL} = \beta$; $v_0 = v_0 \, \beta - SL \, \beta$ skąd $v_0 = SL \frac{\beta}{\beta - 1}$.

[4]) J. Challéat et A. Thomas „Mécanique des affûts", T. 2 str. 76. Paris 1924.

Tabela I.

β \ γ	$\beta^{\gamma-1}$: 1	1,2	1,3	1,4	β \ γ	β^{γ}: 1	1,2	1,3	1,4
1,0	1	1	1	1	1,0	1	1	1	1
1,1	1	1,019	1,029	1,039	1,1	1,1	1,121	1,132	1,143
1,2	1	1,037	1,056	1,075	1,2	1,2	1,244	1,267	1,290
1,3	1	1,054	1,082	1,111	1,3	1,3	1,370	1,406	1,444
1,4	1	1,069	1,106	1,144	1,4	1,4	1,467	1,549	1,602
1,5	1	1,085	1,129	1,176	1,5	1,5	1,634	1,694	1,764
1,6	1	1,098	1,151	1,207	1,6	1,6	1,757	1,842	1,931
1,7	1	1,112	1,172	1,236	1,7	1,7	1,890	1,993	2,101
1,8	1	1,125	1,193	1,265	1,8	1,8	2,025	2,147	2,277
1,9	1	1,137	1,212	1,292	1,9	1,9	2,165	2,303	2,455
2,0	1	1,149	1,231	1,319	2,0	2,0	2,295	2,412	2,638

$$= F_0 \left(\frac{SL\dfrac{\beta}{\beta-1}}{SL\dfrac{\beta}{\beta-1} - Sl} \right)^{\gamma} = \left(\frac{\beta}{\beta - (\beta-1)\dfrac{l}{L}} \right) F_0$$

dla otrzymania zaś pracy A_l wykonanej przez ten sam powrotnik na tej długości odrzutu, wystarczy we wzorze (7) zamienić *w nawiasie* $\frac{v_0}{v_1}$ przez $\frac{v_0}{v}$, czyli β przez $\frac{\beta}{\beta-(\beta-1)\frac{l}{L}}$, otrzymamy więc

$$A_l = F_0 \frac{L}{\gamma-1} \cdot \frac{\beta}{\beta-1} \left[\left(\frac{\beta}{\beta-(\beta-1)\dfrac{l}{L}} \right)^{\gamma-1} - 1 \right] \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

przyczem taki powrotnik musi być obliczony na wysiłek końcowy

$$F_1 = F_0 \left(\frac{v_0}{v_1} \right)^{\gamma}$$

Praca wykonana przez powrotnik podczas odrzutu i przesunięcia odpowiednich części powrotnika na długość L przy początkowem naprężeniu F_0, jak to wynika z równań (7) i (8) zależy wyłącznie od β i nie zależy od wymiarów S poprzecznego przekroju tłoka wzgl. cylindra powrotnika.

Przekrój S określa się ze wzorów

$$p_0 = \frac{F_0}{S} \quad \text{oraz} \quad v_0 = SL \frac{\beta}{\beta - 1}$$

a mianowicie dobiera się tak, aby czyniąc zadość danym p_0 i F_0, powrotnik tworzył dogodny i niezbyt ciężki rezerwuar dla umieszczenia niezbędnej w nim początkowej objętości v_0 powietrza względnie gazu.

Przesunięcie L przepony (rys. 2) wzgl. cieczy w powrotniku podczas odrzutu określa się w sposób następujący:

niech L_i jest początkowa długość przestrzeni w cylindrze powrotnika zajętej przez powietrze wzgl. gaz.

Ponieważ $v_0 = SL_i$

oraz

$$v_0 = S \frac{\beta}{\beta - 1} L,$$

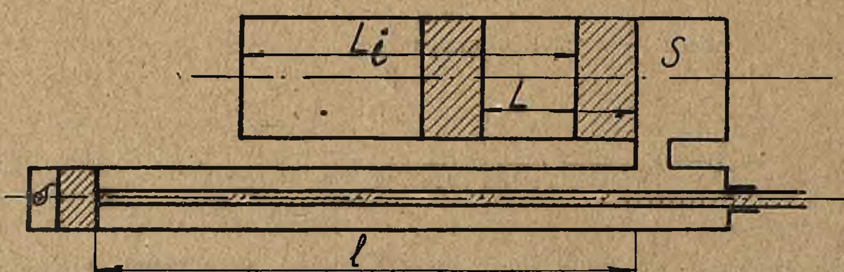
więc

$$L_i = L \frac{\beta}{\beta - 1}$$

biorąc pod uwagę, że β waha się w granicach od 1,5 do 3, L_i powinno być w granicach od 3 L do 1,5 L.

Ponieważ $v_0 = SL_i$ . . . . (9)

i $v_1 = S(L_i - L)$ . . . . (10)



Rys. 2.

to przyjmując celem uproszczenia naszych dalszych rozważań, najprostszy wypadek gdybyśmy mieli

$$L = l \quad \text{i} \quad S = s$$

$$\frac{v_0}{v_1} = \beta = \frac{L_i}{L_i - l}$$

skąd

$$L_i = \frac{\beta}{\beta - 1} l$$

Obliczając stąd L_i możemy określić ze wzorów (9) i (10) wielkości L i S jako dane teoretyczne, które musimy następnie skorygować zgodnie z projektowanym przez nas powrotnikiem.

Przy obliczaniu zasadniczych wymiarów powrotnika musimy jednak mieć na uwadze, że $\frac{v_0}{s}$ jak to wynika z równania (6) zależy od wielkości β.

Wielkość β należy wybrać tak, aby z jednej strony czyniąc zadość warunkowi

$$F_0 = G_r (\sin \alpha_m - f \cos \alpha_m - \varepsilon),$$

otrzymać z równania

$$v_0 = \left(\frac{\beta}{\beta - 1}\right) \frac{L \cdot F_0}{p_0}$$

jak najmniejszą objętość v_0, a więc też otrzymać jaknajmniejszy i najlżejszy rezerwuar powietrza.

β należy wybrać tak, aby nie pociągało ono za sobą nadmiaru pracy powrotnika po odrzucie, a więc też powrotu masy odrzutowej na jej miejsce przed strzałem z uderzeniem.

Jeżeli przytem weźmiemy pod uwagę niedogodność dużego stosunku $\frac{p_1}{p_0} = \frac{F_1}{F_0} = \mu$ pomiędzy końcowem naprężeniem powietrza powrotnika, a jego naprężeniem początkowem, przy którym to stosunku występują w powrotniku bardzo znaczne temperatury, które mogą wywierać niekorzystny wpływ na uszczelnienie i smarowanie powrotnika, jak np. przy $\mu = 8$ w procesie adjabatycznym

$$\left(\frac{F_1}{F_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{T_1}{T_0}; \quad \frac{T_1}{T_0} = \mu^{\frac{0,41}{1,41}} = \mu^{0,29}$$

$$T_1 = 1,8\ T_0$$

i temperaturze zewnętrznej $t_0 = 15^0$ C powietrza $T_0 = 273^0 + 15^0 = 288^0$ otrzymamy $T_1 = 518^0$ czyli $t_1 = 245^0$ C;

zaś przy $\mu = 2$ $\quad t = $ ok. 92^0 C

to jasnem się staje, że bezcelowem jest czynić stosunek pomiędzy końcowem naprężeniem powietrza powrotnika, a jego naprężeniem początkowem większym od 3.

Dlatego też będzie rzeczą najbardziej celową utrzymać β w granicach od 1,5 do 2,5 przy odpowiednio wysokiem F_0.

Co do wielkości F_0, to teoretycznie najkorzystniejszem jest uczynić F_0 możliwie największem, gdyż wtedy v_0, a więc też rezerwuar powietrza będzie najmniejszy i najlżejszy; jednak przy tem musimy mieć na uwadze, że im większe przyjmiemy F_0, tem większe trudności będziemy mieli w urządzeniu dobrego i trwałego uszczelnienia.

W działach okrętowych i nadbrzeżnych o łożach, które są unieruchomione w miejscu i mogą być stosownie konserwowane i często oglądane, ciśnienie początkowe powietrza w powrotniku przyjmuje się w granicach od 50 do 100 kg, na cm², przy działach zaś polowych— ze względu na możność krótkotrwającego ręcznego napompowywania powietrza.

Reasumując powyższe, przebieg obliczenia powrotnika przedstawi się w sposób następujący, gdy mamy do czynienia z powrotnikiem niezależnym.

Po ustaleniu wartości β, wprowadzamy niezbędne poprawki w datach powrotnika tak, aby otrzymać potrzebne dla budowy powrotnika dane, jak najkorzystniejsze dla danego działa; biorąc pod uwagę, że L_i jest znane, $L_i = \frac{v_0}{S}$ gdzie

$$S = \frac{F_0}{p_0}, \quad F_0 = G_r\,(\sin\alpha - f\cos\alpha - \varepsilon)$$

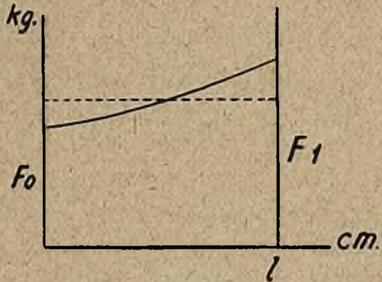
obliczamy v_0, przyjmując dla p_0 wartości wskazane poprzednio.

Można też wartość β przyjąć przez porównanie z analogicznemi powrotnikami dział istniejących na uzbrojeniu i wszechstronnie wypróbowanych, a następnie sprawdzić, czy praca dosłania zespołu odrzutowego po odrzucie będzie odpowiednią dla rozpatrywanego wypadku budowy powrotnika. Następnie sporządzamy wykres sprężania się powietrza podczas odrzutu, aby móc powiązać opór opornika z oporem, który wytwarza powrotnik; w tym celu biorąc za podstawę równanie:

$$F_l = F_0\left(\frac{v_0}{v_l}\right)^{\gamma} = F_0\left(\frac{L_i}{L_i - l}\right)^{\gamma}$$

budujemy krzywą, uwidocznioną na rys. 3.

Następnie powinniśmy również stwierdzić, czy przy zmniejszeniu F_0 do $\frac{n}{100} F_0$, które to zmniejszenie odpowiada utratom płynu powstającym w powrotnikach analogicznych, praca powrotnika będzie dostateczną dla dosyłania zespołu odrzutowego po odrzucie, i czy dosyłanie nastąpi bez uderzenia [5].



rys. 3.

Wreszcie zapomocą obliczeń analogicznych do obliczeń podanych wyżej, należy sprawdzić czy powrotnik jest zdatny do użycia. Zazwyczaj aby mieć zapewnione normalne działanie powrotnika, oraz zapobiec utracie płynu między przegrodą właściwego tłoka powrotnika, a przeponą powrotnika, wprowadza się pewien nadmiar płynu stosowanego w odnośnym oporniku.

Różnicę pomiędzy objętością cylindrów, a objętością wypełnioną w nich przez płyn, stanowi objętość v_0, zajęta przez ściśnięte początkowo powietrze; jest ona zmienna zależnie od utraty płynu.

Jeżeli v_0 i p_0 są normalnemi początkowemi wartościami objętości i ciśnienia powietrza, to dla wykreślenia krzywej oporu powrotnika i sprawdzenia naszych obliczeń przyjmiemy, że C jest nadmiarem płynu, otrzymując w ten sposób wartość objętości początkowej: $v_0' = v_0 - C$, którą to wartość przyjmujemy pod uwagę przy obliczeniu β i L_l; określa się pozatem przesunięcie przepony powrotnika zależnie od długości odrzutu i wartości F_l dla różnych wartości F_0; wykresy przy tem otrzymane możemy porównać z analogicznemi wykresami powrotników dział poprzednio zbudowanych.

Średnica powrotnika i wymiary przepony tłoka i tłoczyska okre-

---

[5]) W powrotnikach dział 75 mm syst. Schneidra założono, że strata ta waha się od 5 do 6 kg : cm².

ślamy zależnie od obliczonej dla danego wypadku wartości S przekroju poprzecznego przepony.

Gdy powrotnik pneumatyczny i opornik hydrauliczny są wzajemnie zależne, obliczenie powrotnika wykonuje się w sposób następujący:

Przyjmiemy oznaczenia następujące dla danej chwili ruchu masy odrzutowej:

S	powierzchnia przepony $\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)$
s	„ użyteczna tłoka $\left(\frac{\pi}{4}(d_1{}^2 - d_2{}^2)\right)$
σ	„ otworu przelewowego
p	ciśnienie jednostkowe oleju w cylindrze opornika
p_1	„ na cm² wywierane na przeponę przez ściśnięte powietrze
p_2	„ na cm² wywierane na przeponę przez olej
f_1	tarcie uszczelnienia ruchomego
f_2	„ tłoka i tłoczyska
Σ_r	„ na płozach
$g_r \sin \alpha$	składowa ciężaru zespołu odrzutowego
v_r	szybkość odrzutu „ „

Podczas odrzutu zespołu odrzutowego olej przecieka przez otwór przelewowy pod ciśnieniem $p - p_2$, które na mocy wzoru, wyprowadzonego na zasadzie prawa Bernouilli'ego, wyniesie

$$p - p_2 = \lambda' \frac{v_2{}^2}{\sigma^2} \quad \dots\dots\dots\dots \quad \text{(10-bis)}$$

Kiedy lufa cofa się, olej w cylindrze opornika przepływa do cylindra powrotnika i pcha przeponę; równanie ruchu przepony — jeżeli oznaczymy przez μ jej masę, przez v jej szybkość i przez dx jej elementarne przesunięcie:

$$\mu v \frac{dv}{dx} = Sp_2 - (Sp_1 + f_1)$$

Skądinąd v i dx są związane z szybkością odrzutu v_r i elementarnem przesunięciem masy odrzutowej przez

$$v = v_r \frac{s}{S}$$

$$\text{i}\ \frac{dv}{dx} = \frac{dv_r}{dl}\ ^{6)}$$

a więc

$$\mu\ v_r\ \frac{s}{S} \cdot \frac{dv_r}{dl} = Sp_2 - (Sp_1 + f_1)$$

Skąd

$$p_2 = \mu\ \frac{s}{S^2}\ v_r\ \frac{dv_r}{dl} + p_1 + \frac{f_1}{S}$$

mamy więc na zasadzie wzoru (10-bis)

$$p = \lambda'\ \frac{v_r^2}{\sigma^2} + \mu\ \frac{s}{S^2}\ v_r\ \frac{dv_r}{dl} + p_1 + \frac{f_1}{S}$$

Jeżeli dodamy tarcie f_2 uszczelnień tłoka i tłoczyska, tarcie Σ_r pochodzące z oporów łoża oraz składową ciężaru lufy $g_r \sin \alpha$ i jeżeli oznaczymy masę zespołu odrzutowego przez m, to otrzymamy równanie ruchu zespołu odrzutowego

$$m\ v_r\ \frac{dv_r}{dl} + \left(sp_1 + s\frac{f_1}{S} + \mu\ \frac{s^2}{S^2}\ v_r\ \frac{dv_r}{dl}\right) + \lambda\ \frac{v_r^2}{\sigma^2} + f_2 + \Sigma_r - g_r \sin \alpha = 0.$$

W tym wzorze mamy:

$$sp_1 = sp_0 + \frac{s}{S} f'(l)$$

gdzie p_0 oznacza prężność gazu w powrotniku na początku ruchu, zaś $f'(l)$ powiększenie oporu przeciwstawionego przy odrzucie przez powrotnik dla odległości odrzutu l. Możemy również przypuścić, że opory otrzymane przez tarcie są zależne jedynie od kąta podniesienia α, wobec czego oznaczając przez $M = m + \mu \left(\frac{s}{S}\right)^2$

$$\text{oraz}\quad \varphi(\alpha) = sp_0 + s\frac{f_1}{S} + f_2 + \Sigma_r - g_r \sin \alpha$$

otrzymujemy równanie ruchu w postaci

$$Mv_r\ \frac{dv_r}{dl} + \lambda\ \frac{v_r^2}{\sigma^2} + f(l) + \varphi(\alpha) = 0.$$

Równanie to wskazuje, że biorąc rzeczy ściśle — powinno się

---

[6]) $\frac{dv}{dx} = \frac{dv_r}{dl} \cdot \frac{dl}{dx} \cdot \frac{s}{S}$

ponieważ $dl = \frac{S}{s}\, dx$ więc $\frac{dv}{dx} = \frac{dv_r}{dl}$.

brać pod uwagę masę przepony (masę tę zawiera liczba M) jednakowoż w praktyce można ją odrzucić ponieważ μ jest bardzo małe w porównaniu z m, zaś stosunek $\frac{s^2}{S^2}$ jest zazwyczaj bliski od 0,1.

Będziemy więc brali zamiast M masę m (zespół odrzutowy), która w rzeczywistości uczestniczy w odrzucie z szybkością v_r; otrzymamy wtedy ogólne równanie ruchu

$$m v_r \frac{dv_r}{dl} + \lambda \frac{v_r^2}{\sigma^2} + f\,(l) + \varphi\,(\alpha) = 0.$$

Całkując to równanie otrzymujemy wzory określające v_r^2 i opór opornika $\frac{v_r^2}{\sigma^2}$ w funkcji długości odrzutu.

Aby móc określić wartość tych wielkości dla danej długości odrzutu l należy zauważyć, że $\frac{\sigma^2}{\lambda}$, $\varphi\,(\alpha)$ oraz funkcja $f\,(l)$ powinny być obliczone dla określonych warunków strzału.

Dla określenia tych wielkości należy wziąć pod uwagę warunek stateczności, t. j. warunek, aby krzywa całkowitego oporu w czasie odrzutu pozostawała stale poniżej linji stateczności, i to w warunkach strzału najbardziej niekorzystnych, a więc zarówno przy największej szybkości początkowej, tak również przy największych oporach biernych i dla najbardziej niekorzystnego kąta podniesienia. Prócz tego temperatura wpływa zarówno na lepkość płynu w oporniku jak też i na prężność powietrza w powrotniku. Z punktu widzenia stateczności niska temperatura jest niedogodną ze względu na zwiększenie lepkości płynu, — zaś podwyższona temperatura — ze względu na prężność gazu w powrotniku. Opracowując projekt działa trzeba zawsze upewnić się, czy stateczność pozostaje zapewnioną we wszystkich tych wypadkach.

Po określeniu energji posiadanej przez zespół odrzutowy w chwili odrzutu, którą to energję należy w danym wypadku pochłonąć, oblicza się odpowiednią długość odrzutu tak, aby nie przekraczała ona granicy dopuszczalnej przez budowę działa i aby uniknąć uderzeń.

Rzędne krzywej całkowitego oporu na początku i końcu odrzutu określamy ze wzorów:

$$\varphi\,(\alpha) + \lambda \frac{v_r^2}{\sigma^2} \quad \text{i} \quad \varphi\,(\alpha) + f\,(l)$$

Rzędne te powinny być mniejsze od odpowiednich rzędnych pro-

stej stateczności, co stanowi niezbędny warunek, określający rzędne krzywej całkowitego oporu, który obliczyliśmy poprzednio.

Ustalając dla $\varphi(\alpha)$ pewną wartość, co pozwala przedwstępnie określić σ i uwzględniając, że oporopowrotnik jest z powrotnikiem powietrznym (co zwykle ma miejsce w oporopowrotniku, gdy opornik i powrotnik są wzajemnie zależne) określamy wartości $f(l)$ z następującego szeregu: [7])

$$sp = sp_0 \left(\frac{1}{1 - \frac{s\,L}{S\,L_i}} \right)^{\gamma} =$$

$$= sp_0 + sp_0\, \gamma \frac{s}{S} \frac{L}{L_i} + sp_0 \frac{\gamma\,(\gamma+1)\,s^2}{2\,S^2} \cdot \frac{L^2}{L_i^2} + \ldots\ldots$$

gdzie L_i oznacza długość przestrzeni, zajętej w powrotniku przez gaz na początku odrzutu, a L — w danej chwili odrzutu; skądinąd Sp_0 określa się przez warunki, jakim odpowiada dane działo.

Określimy stąd dwa pierwsze wyrazy (które jedynie są zazwyczaj potrzebne w praktyce), zadając sobie wartość: $\frac{s}{S}$.

Następnie należy określić s, S i p_0, przyczem s dobiera się do największego ciśnienia, które powstaje w cylindrze opornika (około 250 kg).

Ponieważ $\frac{s}{S}$ jest ustalone uprzednio, to otrzymujemy stąd S, a znając też Sp_0 określamy też p_0.

Wprowadzając wartości: $f(l)$, $\varphi(\alpha)$, oraz σ^2 we wzory v_r^2 i $\lambda \frac{v_r^2}{\sigma^2}$ możemy określić ich wartość dla byle jakiej długości odrzutu l, biorąc pod uwagę, że w ostatniej chwili odrzutu zespołu odrzutowego szybkość zespołu anuluje się t. j. $v_r = 0$.

Powyższe obliczenie cech powrotnika oparte jest więc na studjum odrzutu; koniecznem jest prócz tego zbadać okres powrotu, dla

---

[7]) Przyjmując prawo zmiany ciśnienia w powrotniku w postaci $pv^{\gamma} = p_0 v_0^{\gamma}$ i wprowadzając do tego wzoru objętości powietrza, określone w zależności od długości przestrzeni, zajętej przez powietrze, a mianowicie: $v = SL_i - sl$ oraz $v_0 = SL_i$ otrzymujemy

$$p\left(L_i - \frac{s}{S}\,L\right)^{\gamma} = p_0\,L_i^{\gamma} \text{ skąd } p = p_0 \left(\frac{1}{1 - \frac{s}{S}\frac{L}{L_i}}\right)^{\gamma}$$

którego w razie oporopowrotnika hydropneumatycznego w sposób analogiczny, jak uprzednio, dochodzi się do równania ruchu masy odrzutowej, mającego postać:

$$m\ v_p \frac{dv_p}{dl} - \lambda \frac{v_p^2}{\sigma^2} + \Psi(l) + \xi\ (\alpha) = 0,$$

przyczem może zajść konieczność dodania specjalnego regulatora, zwanego tłumikiem powrotu, mającego na celu uniknięcie uderzeń w końcu powrotu przez pochłonięcie szybkości końcowej[8]); wreszcie trzeba obliczyć czas powrotu, który nie może w pewnych sprzętach przekraczać pewnej wartości, te rozważania mogą spowodować wprowdzenie pewnych poprawek do początkowego projektu powrotnika; szczegółowe ujęcie odnośnego studjum przekracza ramy niniejszego artykułu.

B. POWROTNIK SPRĘŻYNOWY.

Sprężyny w zastosowaniu do powrotnika mogą być umieszczone w nim tak, aby jednym końcem opierały się o części łoża, które podczas strzału pozostają nieruchome, podczas gdy drugi koniec sprężyny opiera się o części powrotnika, które wraz z lufą cofają się wstecz; długość, o którą zostają w tym wypadku ściśnięte sprężyny podczas odrzutu, równa się całkowitej długości odrzutu (powrotnik ros. 76,2 mm arm. pol. wz. 1902); lub też pomiędzy sprężynami a częścią powrotnika, która wraz z lufą cofa się wstecz podczas strzału, umieszcza się np. rura pośrednia (10 cm haub. pol. wz. 1914), która redukuje stopień ściskania sprężyny podczas odrzutu do określonej wielkości ułamka od całkowitej długości odrzutu np. L/n.

Teoretycznie w obu wypadkach ściskanie sprężyny jest to samo, lecz z tą różnicą, że w tym drugim wypadku należy wziąć pod uwagę *n* — razy większe naprężenie sprężyny i *n* — razy mniejszą długość, na którą sprężyna zostaje ściśnięta.

Przyjmując to pod uwagę rozpatrzymy pierwszy wypadek bardziej szczegółowo i otrzymane w nim wyniki zastosujemy odpowiednio do wypadku drugiego, pamiętając, że powrotnik sprężynowy powinien:

---

[8]) p. Challéat et Thomas „Mécanique des affûts" tom II str. 190—193, wyd. 1924.

1) zapewnić początkowe naprężenie sprężyny

$$F_0 \geqslant G_r (\sin \alpha_m - f \cos \alpha_m - \varepsilon)$$

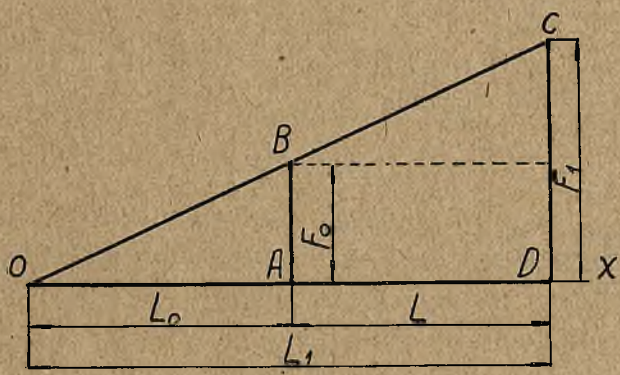
tak, aby gwarantowało ono przy maksymalnym kącie podniesienia lufy utrzymanie zespołu odrzutowego na miejscu w położeniu bojowem, i aby sprężyna przytem była ściśnięta o długość L_0.

2) umożliwić ściskanie sprężyny o długość $L_1 = L_0 + L$ podczas odrzutu zespołu odrzutowego na długość L i dawać naprężenie końcowe sprężyny $F_1 > G_r (\sin \alpha_m + f \cos \alpha_m + \varepsilon)$, pozatem zapewnić szybkie i bez uderzenia dosyłanie masy odrzutowej na jej miejsce przed strzałem, po dokonanym przez nią odrzucie.

W obu wypadkach funkcjonowania powrotnika, sprężyna po jej rozprężeniu nie powinna posiadać żadnych odkształceń trwałych.

Przyjmując, że $\frac{F_1}{F_0} = \frac{L_1}{L_0}$, każde naprężenie sprężyny jako skutek jej poszczególnych spłaszczań można przedstawić w sposób dość prosty graficznie w postaci wykresu, który uwidoczniony jest na rys. 4.

Pole $ABCD$ na tym wykresie przedstawia pracę, jaką wykonuje sprężyna rozprężając się podczas powrotu mosy odrzutowej po jej odrzucie na długość L.



Rys. 4.

Z wykresu na rys. 4 wynika, że

$$\frac{F_0}{F_1' - F_0} = \frac{L_0}{L'}$$

gdzie przez L' oznaczamy długość maksymalnego odrzutu (nieco większą od długości normalnego odrzutu L) przy której zwoje sprę-

żyny dotykają się do siebie, a przez F_1' maksymalne naprężenie sprężyny skąd

$$F_1' = F_0 \left(1 + \frac{L'}{L_0}\right)$$

oraz praca sprężysta H danej sprężyny na długości $L_0 + L'$ i jej napięciu końcowem F_1'

$$H = \frac{F_1'}{2} (L_0 + L') = \frac{F_0}{2} \left(1 + \frac{L'}{L_0}\right) (L_0 + L')$$

czyli

$$H = \frac{F_0}{2} \left(L_0 + 2L' + \frac{L'^2}{L_0}\right) \quad \text{. . . . . . . (11)}$$

Wyprowadzając L' za nawias i oznaczając

$$\frac{L_0}{L'} = \sigma \quad \text{. . . . . (12)}$$

otrzymamy

$$H = \frac{F_0}{2} L' \left(\sigma + 2 + \frac{1}{\sigma}\right) \quad \text{. . . . . (13)}$$

oraz

$$F_1' = F_0 \left(1 + \frac{1}{\sigma}\right) \quad \text{. . . . . (14)}$$

Z równania (11) wynika, że przy danem F_0 i danej długości L' praca H osiąga swe minimum gdy:

$$\frac{d \left(L_0 + 2L' + \frac{L'^2}{L_0}\right)}{d\, L_0} = 0$$

a więc wówczas, gdy

$$1 - \frac{L'^2}{L_0^2} = 0$$

czyli

$$L_0 = L'$$

Stąd wnioskujemy, że:

Przy danem naprężeniu początkowem F_0 i danej maksymalnej długości odrzutu L' praca sprężysta sprężyny, a więc też wynikający stąd ogólny ciężar sprężyny są najmniejsze, o ile długość, na którą jest ściśnięta sprężyna przy początkowem jej naprężeniu, równa się długości odrzutu.

Jeżeli więc praca sprężyny powrotnika wykonana przy powrocie masy odrzutowej przy maksymalnym kącie podniesienia na drodze L', określona ze wzoru

$$H \geqslant G_r (\sin \alpha_m + f \cos \alpha_m + \varepsilon) \; L'$$

jest wystarczającą dla dosłania masy odrzutowej na jej miejsce przed strzałem, wówczas sprężyna przy której $L_0 = L'$ przy danem naprężeniu początkowem będzie najkorzystniejszą do zastosowania jej w powrotniku.

Jednocześnie praca sprężysta na długości odrzutu L', jak to wynika z wykresu rys. 4.

$$H = \frac{F_0 + F_1'}{2} L' = \frac{F_0}{2} \left(1 + 1 + \frac{L'}{L_0}\right) L' =$$

$$= \frac{F_0}{2} \left(2 + \frac{L'}{L_0}\right) L' \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (15)$$

skąd, o ile

$$L_0 = L'$$

$$H = 1{,}5 \, F_0 \, L' \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (16)$$

Ale ponieważ przytem naprężenie początkowe powinno być conajmniej:

$$F_0 = G_r \; (\sin \alpha_m - f \cos \alpha_m - \varepsilon)$$

to musimy spółczynniki f i ε utrzymać w odpowiednich granicach:

$$f \leqslant 0{,}3 \text{ i } \varepsilon \leqslant 0{,}1$$

Obliczając wymiary sprężyny według naprężenia początkowego długości L_0, początkowego ściskania sprężyny, oraz długości odrzutu, należy również wziąć pod uwagę długość l sprężyny początkowo napiętej. Czynnik ten uwzględnimy w naszych dalszych rozważaniach w postaci stosunku długości całkowicie ściśniętej podczas odrzutu sprężyny $(l - L')$ do długości odrzutu L':

$$\frac{l - L'}{L'} = \frac{l}{L'} - 1 = \lambda$$

Sprężyny używane w obecnych powrotnikach dział artyleryjskich, są to wyłącznie sprężyny śrubowe z hartowanej stali z pręta o przekroju okrągłym lub eliptycznym, lub też prostokątnym.

Oprócz tych sprężyn śrubowych w działach z krótkim odrzutem

zespołu odrzutowego używa się też sprężyn płytkowych; w działach o łożach kołowych z długim odrzutem wzdłuż osi lufy — takie sprężyny do zastosowania ich w powrotniku nie nadają się.

Przy obliczeniu: a) *sprężyn śrubowych naciskowych o przekroju poprzecznym, okrągłym,* będziemy oznaczali przez: (rys. 5).

d — średnicę przekroju pręta w cm.

r — promień zwoju sprężyny w cm,

k — naprężenie dopuszczalne na skręcanie w kg : cm²

F_0 — naprężenia początkowe sprężyny w kg,

F_1 — maksymalnę końcowe naprężenie sprężyny w kg,

L' — długość maksymalnego odrzutu (odrzut nieco większy od normalnego), przy którym zwoje sprężyny dotykają się do siebie,

n — ilość zwojów,

G — spółczynnik sprężystości poprzecznej, dla stali 830000 — 860000 kg : cm²,

H — pracę sprężystą przy ściskaniu sprężyny przy naprężeniu końcowem F_1 w cm kg.

Według „Hütte" mamy:

a) $F_1 = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{d^3}{r} k$ b) $L_1 = L_0 + L' = \frac{64 n r^3}{d^4} \cdot \frac{F_1}{G.}$

ze wzoru (a) otrzymujemy:

$$d = \sqrt[3]{\frac{r.\ F_1}{0{,}19635\ k}} \quad \text{. . . . .} \quad (17)$$

zaś ze wzorów (a) i (b), otrzymujemy:

$$n = \frac{d^4 (L_0 + L') G}{64\, r^3} \cdot \frac{16\, r.}{\pi\, d^3 k.}$$

czyli

$$n = \frac{dG (L_0 + L')}{4 \pi r^2 k} \quad \text{. . . . .} \quad (18)$$

podnosząc równanie (17) do kwadratu i mnożąc go przez (18) mamy:

$$n\, d - \frac{r^{2/3}.}{k^{2/3}} \frac{F_1^{2/3}}{0{,}19635^{2/3}} \cdot \frac{G (L_0 + L')}{4 \pi r^2 k} = l - L' = L' \lambda \quad \text{. . .} \quad (19)$$

podnosząc zaś to ostatnie równanie do sześcianu otrzymujemy:

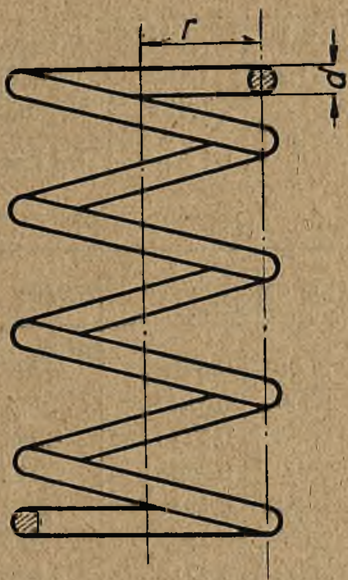
$$r = \sqrt[4]{\frac{(L_0 + L^1)^3 .\ F_1^2\, G^3}{L'^3 \lambda^3 .\ k^5\ \ 76{,}51.}}$$

ale, ponieważ

$$\frac{(L_0 + L')^3}{L'^3} = \left(\frac{L_0}{L'} + 1\right)^3 = (1 + \sigma)^3$$

oraz

$$F_1 = F_0\left(1 + \frac{1}{\sigma}\right) \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (20)$$



rys. 5.

to

$$r = \sqrt[4]{F_0^2 \left(\frac{G}{\lambda}\right)^3 \frac{1}{k^5} \cdot \frac{1}{76{,}51} (1 + \sigma)^3 \cdot \left(1 + \frac{1}{\sigma^2}\right)^2} \quad . \ . \ . \ . \quad (21)$$

Oznaczając

$$\sqrt[4]{\frac{1}{8}(1 + \sigma)^3 \left(1 + \frac{1}{\sigma}\right)^2} = \sqrt[4]{\frac{1}{8}\,\frac{(1 + \sigma)^5}{\sigma^2}} = \omega \quad . \ . \ . \quad (22)$$

$$\sqrt[4]{\frac{100000^4}{k^5}} = \alpha \quad . \ . \ . \ . \ , \ . \ . \ . \ . \ . \quad (23)$$

i

$$\sqrt[4]{\frac{1}{9{,}56375}} = 0{,}568\ 7 = \psi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

otrzymujemy:

$$r = \frac{\omega . \psi . \alpha}{100000} \sqrt[4]{F_0^2 \left(\frac{G}{\lambda}\right)^3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

Liczbowe znaczenia *w* i *α* podane są w tabeli II i III [1]).

Tabela II.

$\sigma = \frac{L_0}{L'}$	ω	*log* ω.
σ = 1,5	1,526	0.18361
σ = 1,25	1,466	0,16600
σ = 1	1,414	0,15052
$\sigma = \frac{2}{3}$	1,379	0,13958,

Tabela III.

k w kg: cm²	log α	α
5000	0,3763	2,378
5500	0,3246	2,111
6000	0,2773	1,894
6500	0,2338	1,713
7000	0,1936	1,562
7500	0,1562	1,433
8000	0,1211	1,322
8500	0,0882	1,225
9000	0,0572	1,141
9500	0,0279	1,066
10000	0	1
10500	0,9735—1	0,9408
11000	0,9483—1	0,8877
11500	0,9241—1	0,8397
12000	0,9010—1	0,7962
12500	0,8789—1	0,7566
13000	0,8576—1	0,7204

[1]) Prof. F. Rausenberger „Theorie der Rohrrücklaufgeschütze", str. 37. Berlin 1907

Biorąc pod uwagę równanie (17), oraz równanie (21) mamy:

$$d=1{,}72\sqrt[3]{\frac{r}{k}\cdot F_0\left(1+\frac{1}{\sigma}\right)} \qquad (26)$$

ilość zwojów jak — zaznaczono w równaniu (19):

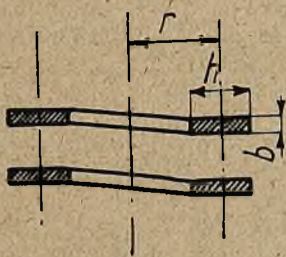
$$n=\frac{l-L'}{d}$$

b) *Dla sprężyn śrubowych naciskowych o przekroju poprzecznym, prostokątnym:*

$$\text{a)}\quad F_1=\frac{1}{4{,}5}\cdot\frac{b^2\,h}{r}\cdot k \qquad (27)$$

$$\text{b)}\quad H=\frac{4}{45}\left(\frac{b^2}{h^2}+1\right)\frac{k^2}{G}\cdot v \qquad (28)$$

gdzie h i b są wymiary boków prostokąta przekroju poprzecznego pręta, czyli profilu sprężyny (rys. 6),



Rys. 6.

zaś v — objętość sprężyny w cm^3.

Oznaczając stosunek $\frac{h}{b}=\eta$ i dzieląc wzór (27) przez h^3 mamy

$$\frac{F_1}{h^3}=\frac{1}{4{,}5}\cdot\frac{b^2}{h^2}\cdot\frac{k}{r}$$

czyli

$$\frac{F_1}{h^3}=\frac{1}{4{,}5}\cdot\frac{1}{\eta^2}\cdot\frac{k}{r}$$

skąd

$$h=\sqrt[3]{\frac{F_1\ r}{k}}\cdot\sqrt[3]{4{,}5\,\eta^2}$$

Oznaczając $\sqrt[3]{4{,}5\,\eta^2}=\varphi$ (liczbowe znaczenia φ dla poszczególnych wartości η podane są w tabeli IV), otrzymujemy:

$$h = \varphi \sqrt[3]{\frac{F_1\ r}{k}} = \varphi \sqrt[3]{\frac{r}{k} F_0 \left(1 + \frac{1}{\sigma}\right)} \quad \ldots\ldots \quad (29)$$

wzór ten jest podobny do wzoru (26), który mieliśmy poprzednio dla d w sprężynach z pręta o przekroju poprzecznym okrągłym.

Objętość sprężyny może być przyjęta w przybliżeniu jako:

$$v = 2\ \pi\ r\ h . b . n$$

a ponieważ $bn = l - L' = L'\lambda$

to $$v = 2\ \pi\ r\ h\ \lambda\ L'.$$

Biorąc pod uwagę, że z równania (28):

$$v = \frac{45}{4} G H \frac{1}{k^2} \cdot \frac{\eta^2}{1+\eta^2}$$

widzimy, że

$$\frac{45}{4} G H \frac{1}{k^2} \frac{\eta^2}{1+\eta^2} = 2\ \pi\ r\ h\ L'\ \lambda$$

skąd

$$h = \frac{45}{4} \cdot \frac{\eta^2}{1+\eta^2} \cdot \frac{1}{2\pi} \frac{G H}{\lambda L'\ r\ k^2};$$

oznaczając zaś

$$\frac{45}{4} \cdot \frac{\eta^2}{1+\eta^2} \cdot \frac{1}{2\pi} = \rho$$

otrzymujemy

$$h = \rho \frac{G H}{r . k^2 \lambda L'} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (30)$$

co w związku z równaniem (29) daje

$$\varphi \sqrt[3]{\frac{F_1\ r}{k}} = \rho \ \frac{G H}{r k^2\ \lambda\ L'}$$

skąd

$$r^4 = \frac{\rho^3}{\varphi^3} \left(\frac{G H}{\lambda\ L'}\right)^3 \frac{1}{F_1} \cdot \frac{1}{k^5};$$

Oznaczając

$$\sqrt[4]{\left(\frac{\rho}{\varphi}\right)^3} = \Psi$$

i biorąc pod uwagę.

$$H = L' \frac{F_0}{2}\left(\sigma + 2 + \frac{1}{\sigma}\right)$$

oraz

$$F_1 = F_0\left(1 + \frac{1}{\sigma}\right)$$

otrzymujemy

$$r = \Psi \sqrt[4]{\left(\frac{G}{\lambda}\right)^3 \cdot \frac{F_0^2}{8} \frac{\left(\sigma + 2 + \frac{1}{\sigma}\right)^3}{1 + \frac{1}{\sigma}} \cdot \frac{1}{k^5}}$$

a ponieważ, jak to widać z równania (22)

$$\sqrt[4]{\frac{\frac{1}{8}\left(\sigma + 2 + \frac{1}{\sigma}\right)^3}{1 + \frac{1}{\sigma}}} = \sqrt[4]{\frac{1}{8} \frac{(\sigma + 1)^5}{\sigma^2}} = \omega$$

więc

$$r = \Psi\, \omega \sqrt[4]{\left(\frac{G}{\lambda}\right)^3 \cdot \frac{F_0^2}{k^5}}$$

skąd biorąc pod uwagę równanie (23) $\sqrt[4]{\frac{100000}{k^5}} = \alpha$

otrzymujemy

$$r = \frac{\Psi\, \omega\, \alpha}{100000} \sqrt[4]{F_0^2 \left(\frac{G}{\lambda}\right)^3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (31)$$

a więc równanie podobne do równania (25) określającego r w sprężynach z drutu o przekroju poprzecznym okrągłym. Liczbowe znaczenia ω i α są podane w tabelach II i III, zaś Ψ w tabeli IV.

Znając r, możemy określić h z równania (29)

$$h = \varphi \sqrt[4]{\frac{r}{k} F_0 \left(1 + \frac{1}{\sigma}\right)} \quad \text{oraz} \quad b = \frac{h}{\eta}$$

następnie zaś ilość zwojów z równania

$$n = \frac{l - L'}{b}$$

Tabela IV*)

$\varphi = \sqrt[3]{4,5\,\eta^2}$ $\qquad$ $\psi = \sqrt[4]{\left(\frac{\rho}{\varphi}\right)^3}$

$\eta = \frac{h}{b}$	log φ	φ	log ψ	ψ
1	0,2177	1,651	0,8006—1	0,632
1,5	0,3351	2,163	0,8186—1	0,659
2	0,4184	2,621	0,8032—1	0,636
2,2	0,4460	2,793	0,7940—1	0,622
2,4	0,4712	2,959	0,7842—1	0,608
2,6	0,4944	3,122	0,7740—1	0,594
2,8	0,5158	3,280	0,7638—1	0,580
3,0	0,5358	3,434	0,7535—1	0,567
3,2	0,5545	3,585	0,7435—1	0,554
3,4	0,5721	3,733	0,7337—1	0,542
3,6	0,5886	3,878	0,7241—1	0,530
3,8	0,6043	4,020	0,7147—1	0,518
4,0	0,6191	4,160	0,7057—1	0,508
5,0	0,6837	4,827	0,6642—1	0,4615

Ciężar sprężyny określa się ze wzoru

$$p_s = v\,\delta = \frac{\pi d^2}{4}\, l\,\delta \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (32)$$ dla sprężyn z pręta o profilu okrągłym

i

$$p_s' = v\,\delta = 11,25 \frac{\eta^2}{1+\eta^2} \cdot \frac{G\,H}{k^2}\,\delta \quad . \; . \quad (33)$$ dla sprężyn z pręta o profilu prostokątnym

gdzie δ jest ciężar gatunkowy metalu sprężyny.

Z powyższego wnioskujemy, że przy jednej i tej samej pracy sprężystej i jednakowem obciążeniu materjału sprężyna z pręta o profilu okrągłym jest lżejsza niż sprężyna z pręta o profilu prostokątnym:

przy

$$\frac{h}{b} = 1 \qquad p_s' = 1,406\; p_s$$

$$\frac{h}{b} = 2 \qquad p_s' = 2,25\; p_s\,.$$

*) Prof. F. Rausenberger „Theorie der Rohrzücklaufgeschütze" str. 41. Berlin 1907.

$$\frac{h}{b} = 3 \qquad p_s' = 2{,}53\ p_s$$

$$\frac{h}{b} = 4 \qquad p_s' = 2{,}64\ p_s$$

Badając równanie (31), które możemy przedstawić w postaci

$$r = \psi \omega \sqrt{F_0} \sqrt[4]{\frac{1}{\lambda^3}} \sqrt[4]{\frac{1}{k^5}} \sqrt[4]{G^3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (34)$$

widzimy, że r jest tem mniejsze, a więc też i sprężyna w powrotniku jest tem lżejsza, im mniejsze są ω, ψ, F_0 i G oraz im większe są λ i k.

Ponieważ zaś

$$\omega = \sqrt[4]{\frac{1}{8} \frac{(1+\sigma)^5}{\sigma^5}}$$

osiąga swe minimum, gdy

$$\frac{d\,\dfrac{(\sigma+1)^5}{\sigma^2}}{d\sigma} = 0,$$

czyli

$$\sigma = \frac{2}{3},$$

więc r jest najmniejsze, gdy stosunek

$$\frac{L_0}{L'} = \sigma = \frac{2}{3}.$$

Według „Theorie der Rohrrücklaufgeschütze" prof. F. Rausenberger. Berlin 1907, str. 45.

1) Jeżeli przyjmiemy w równaniu (34) najmniejszą wartość r jako 1, to przy

$\sigma = \frac{1}{2}$	$r = 1{,}012$	czyli przyrost r wyniesie	1,2%
$\sigma = \frac{2}{3}$	$r = 1$	„ „ „ „	0%
$\sigma = \frac{3}{4}$	$r = 1{,}002$	„ „ „ „	0,2%
$\sigma = 1$	$r = 1{,}025$	„ „ „ „	2,5%
$\sigma = 1{,}5$	$r = 1{,}107$	„ „ „ „	10,7%

a więc r będzie najkorzystniejsze przy σ w granicach od $\frac{2}{3}$ do 1.

2) Jeżeli przy danem	F_0	$r = r_0$
to przy	$1{,}1\ F_0$	$r = 1{,}05\ r_0$
	$1{,}2\ F_0$	$r = 1{,}095\ r_0$
	$1{,}3\ F_0$	$r = 1{,}14\ r_0$
	$1{,}5\ F_0$	$r = 1{,}225\ r_0$.

3) Jeżeli przy	$k = 5000$	$r = r_0$
to przy	$k = 6000$	$r = 0{,}8\ r_0$
	$k = 7000$	$r = 0{,}657\ r_0$
	$k = 8000$	$r = 0{,}556\ r_0$
	$k = 9000$	$r = 0{,}482\ r_0$
	$k = 10000$	$r = 0{,}422\ r_0$
	$k = 11000$	$r = 0{,}374\ r_0$
	$k = 12000$	$r = 0{,}336\ r_0$
	$k = 13000$	$r = 0{,}304\ r_0$.

Stąd widzimy również jaki ogromny wpływ wywiera dopuszczalna naprężenie na wymiary sprężyny, a więc też na wymiary powrotnika i całego łoża.

W praktyce zostało stwierdzone, że sprężyna z prętu o profilu prostokątnym posiada znacznie większe naprężenie dopuszczalne na skręcanie, niż sprężyna z pręta o profilu okrągłym, oczywiście, jeżeli sprężyny są wykonane ściśle z jednej i tej samej stali; i o ile pierwsza, będąc zastosowana w dziale polowem może wytrzymać dopuszczalne naprężenie na skręcanie do 14000 kg : cm² bez trwałych odkształceń, to druga łamie się już przy naprężeniu 9000 kg : cm²; stąd wynika, że sprężyna z pręta o profilu prostokątnym może wytrzymać znacznie większe naprężenia końcowe, — niż sprężyna z pręta o profilu okrągłym; oprócz tego słup sprężyn o mniejszych wymiarach promienia r zwoju da się więcej ścisnąć, niż słup — o dużych wymiarach r.

Doświadczenia wykazały, że dla sprężyn z pręta o profilu okrągłym, wykonanych z najlepszej stali specjalnej nie można przekraczać 7000 kg : cm², podczas gdy w powrotnikach o sprężynach o profilu prostokątnym podługowatym można prawie zawsze zastosować naprężenia końcowe ponad 10000 kg : cm².

4) Jeżeli przy $\lambda = \frac{l}{L'} - 1 = 1$ mamy $r = r_0$,

to	„	$\lambda = 0{,}4$	„	$r = 1{,}99 \, . \, r_0$
	„	$\lambda = 0{,}6$	„	$r = 1{,}47 \, . \, r_0$
	„	$\lambda = 0{,}8$	„	$r = 1{,}18 \, . \, r_0$
	„	$\lambda = 1{,}2$	„	$r = 0{,}872 \, . \, r_0$
	„	$\lambda = 1{,}4$	„	$r = 0{,}778 \, . \, r_0 \, .$

5) Ponieważ $\psi = \text{const} \times \left\{ \frac{\frac{\eta^2}{1+\eta^2}}{\eta^{2/3}} \right\}^{3/4}$,

Gdzie $\eta = \frac{h}{b}$,

więc ψ, a razem z niem i r osiąga swe maximum, gdy

$$\frac{d \left\{ \frac{\frac{\eta^2}{1+\eta^2}}{\eta^{2/3}} \right\}}{d\eta} = 0$$

Czyli gdy

$$\eta = \sqrt{2} = 1{,}41.$$

przy

$\frac{h}{b} = 1 \qquad r = 1{,}11 . \, r_0.$

$\frac{h}{b} = 1{,}5 \qquad r = 1{,}16 \, r_0$

$\frac{h}{b} = 2 \qquad r = 1{,}12 \, r_0$

$\frac{h}{b} = 3 \qquad r = r_0.$

$\frac{h}{b} = 4 \qquad r = 0{,}895 \, r_0.$

Stąd wynika, że im większy jest stosunek wysokości profilu do jego podstawy, tem o mniejszym promieniu zwoju sprężynę możemy zastosować w projektowanym przez nas powrotniku.

Przy obliczeniu powrotników sprężynowych o jednym słupie sprężyny zazwyczaj postępujemy w sposób następujący: przedewszystkiem określa się

$$F_0 = G_r \, (\sin \alpha_m - f \cos \alpha_m - \varepsilon)$$

następnie oblicza się stosunek pomiędzy długością drutu L' a początkową długością l sprężyny w powrotniku we wzorze

$$\frac{l}{L'} - 1 = \lambda$$

tak, aby λ było możliwie największe, ile tylko to da się osiągnąć konstrukcyjnie, jednak w każdym razie $> 0{,}4$.

Pozatem dobiera się stosunek pomiędzy długością, na którą została ściśnięta sprężyna przy naprężeniu początkowem, a długością odrzutu tak, aby, o ile niema ku temu żadnych przeszkód:

$$\sigma = \frac{L_0}{L'} = 1 \qquad \text{lub} = \frac{2}{3}$$

a nawet, mając na względzie opornik hydrauliczny i dążąc do jaknajmniejszego naprężenia końcowego, można czasem uznać za celowe w pewnych warunkach stosować $\sigma > 1$

Wówczas możemy obliczyć promień zwoju według wzoru (31)

$$r = \frac{\psi\, \omega\, \alpha}{100000} \sqrt[4]{F_0^2 \left(\frac{G}{\lambda}\right)^3}\ cm.$$

zaś wymiary profilu prostokątnego ze wzorów

$$h = \varphi \sqrt[3]{\frac{r}{k} F_0 \left(1 + \frac{1}{\sigma}\right)} \quad \text{oraz} \quad b = \frac{h}{\eta}$$

i ilość zwojów sprężyny ze wzoru:

$$n = \frac{L' \lambda}{b}$$

Wcelu zmniejszenia miejsca, zajmowanego przez sprężyny w powrotniku, bywa też korzystnem użyć kilku słupów sprężyn: a) wplecionych jedne w drugie lub b) umieszczonych koncentrycznie przy zastosowaniu w nich rury pośredniej na wzór rur stosowanych w teleskopach.

Przy obliczaniu sprężyn powrotnika wzajemnie wplecionych, należy początkowe naprężenie F_0 podzielić odpowiednio na poszczególne sprężyny.

Sprężyny te powinny być jednakowo sprężone i ściśnięte na jedną i tę samą długość przy początkowem naprężeniu sprężyn.

Jeżeli promienie zwojów poszczególnych sprężyn od zewnątrz oznaczymy przez r_1, r_2, r_3, i t. d., to korzystając z ogólnego równania

$$r = \frac{\psi\,\omega\,\alpha}{100000}\sqrt{F_0}\sqrt[4]{\left(\frac{G}{\lambda}\right)^3},$$

powinniśmy ustalić proporcję

$$r_1 : r_2 : r_3 : \ldots\ldots = \sqrt{F_1} : \sqrt{F_2} : \sqrt{F_3} : \ldots\ldots \quad (35)$$

gdzie F_1, F_2, F_3 i t. d. oznaczają początkowe naprężenia poszczególnych sprężyn poczynając od zewnętrznej.

Przy zastosowaniu sprężyn o profilu prostokątnym stosunek η powinien być też jednakowy dla wszystkich poszczególnych sprężyn; zaś

$$h_1 : h_2 : h_3 : \ldots\ldots = \sqrt{F_1} : \sqrt{F_2} : \sqrt{F_3} : \ldots\ldots \quad (36)$$

albowiem

$$\frac{h_1}{h_2} = \sqrt[3]{\frac{F_1\,r_1}{F_2\,r_2}} = \sqrt[3]{\frac{F_1}{F_2}\,\frac{F_1^{1/2}}{F_2^{1/2}}} = \sqrt{\frac{F_1}{F_2}}$$

Następnie

$$\frac{h_1}{r_1} = \varphi\frac{\sqrt[3]{\dfrac{F_1\left(1+\dfrac{1}{\sigma}\right)r_1}{k}}}{r_1} = \varphi\sqrt[3]{\frac{F_1\left(1+\dfrac{1}{\sigma}\right)}{k\,r_1^2}} =$$

$$= \varphi\sqrt[3]{\frac{1+\dfrac{1}{\sigma}}{k}\;\frac{F_1}{F_1\left(\psi^4\,\omega^4\left(\dfrac{G}{\lambda}\right)^3\dfrac{1}{k^5}\right)^{1/2}}} =$$

$$= \varphi\sqrt{\frac{2}{\sigma+1}\cdot\frac{\lambda k}{G}}\;\sqrt[3]{\frac{1}{\psi^2}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (37)$$

Skąd oznaczając

$$\varphi\sqrt{\frac{2}{\sigma+1}}\;\sqrt[3]{\frac{1}{\psi^2}} = \Delta$$

otrzymujemy

$$\frac{h_1}{r_1}=\frac{h_2}{r_2}=\frac{h_3}{r_3}=\Delta\sqrt{\frac{k\lambda}{G}}$$

log Δ dla poszczególnych wielkości φ, ψ i σ podane są w tabeli V.

Tabela V

	$\sigma=1$	$\sigma=\frac{2}{3}$
Dla sprężyn o profilu okrągłym log Δ	0,39907	0,43866
Dla sprężyn o profilu kwadratowym log Δ	0,35063	0,39022

Niech

$$r_3+\frac{h_3}{2}+h_2\,(\tau+0{,}5)=r_2 \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (38)$$

gdzie τh_2 oznacza grę pomiędzy drugim a trzecim słupem sprężyn, dla τ może być przyjęta wartość ca 0,2

Oznaczając

$$\frac{h_1}{r_1}=\frac{h_2}{r_2}= \; . \; . \; =\Delta\sqrt{\frac{k\lambda}{G}}=Y \quad . \; . \; . \quad (39)$$

mamy

$$r_2\sqrt{\frac{F_3}{F_2}}+\frac{Y}{2}r_2\sqrt{\frac{F_3}{F_2}}+Yr_2\,(\tau+0{,}5)=r_2.$$

czyli

$$\sqrt{\frac{F_3}{F_2}}\left(1+\frac{Y}{2}\right)=1-Y\,(\tau+0{,}5) \quad . \; . \; . \; . \quad (40)$$

Jeżeli zaś

$$\sqrt{\frac{F_3}{F_2}}=\sqrt{\frac{F_2}{F_1}}= \; . \; . \; . \; . \; . \; =Z$$

to

$$Z=\frac{1-Y\,(\tau+0{,}5)}{1+\frac{Y}{2}}$$

zaś

$$F_3 = Z^2 F_2;\ F_2 = Z^2 F_1 \text{ i t. d.}$$

$$\text{i } F_0 = F_1 + F_2 + F_3 + \ldots = F_1 (1 + Z^2 + Z^4 + Z^6 + \ldots) \quad (41)$$

Skąd

przy czterech wplecionych wzajemnie sprężynach

$$F_1 = \frac{F_0}{1 + Z^2 + Z^4 + Z^6}$$

przy trzech wplecionych wzajemnie sprężynach

$$F_1 = \frac{F_0}{1 + Z^2 + Z^4}$$

przy dwuch wplecionych wzajemnie sprężynach

$$F_1 = \frac{F_0}{1 + Z^2}$$

oraz

$$F_2 = Z^2 F_1$$

$$F_3 = Z^2 F_2$$

i t. d.

Przy obliczeniu powrotników z kilkoma słupami sprężyn wplecionych wzajemnie, postępuje się w sposób następujący:

1) określa się

$$F_0 = G_r (\sin \alpha_m - f \cos \alpha_m - \varepsilon)$$

2) biorąc z tabeli V wartość log Δ oblicza się

$$Y = \Delta \sqrt{\frac{k \lambda}{G}} \quad \ldots \quad (42)$$

3) oblicza się

$$Z = \frac{1 - Y (\tau + 0{,}5)}{1 + \frac{Y}{2}}, \quad \tau = 0{,}2 \text{ do } 0{,}3$$

4) oblicza się

$$F_1 = \frac{F_0}{1 + Z^2 + Z^4 + Z^6}$$

(przy czterech wplecionych sprężynach)

$$F_1 = \frac{F_0}{1 + Z^2 + Z^4}$$

(przy trzech wplecionych sprężynach)

$$F_1 = \frac{F_0}{1 + Z^2}$$

(przy dwóch wplecionych sprężynach)

5) określa się

$$F_2 = Z^3 F_1;\ F_3 = Z^2 F_2;\ F_4 = Z^2 F_3.$$

Po określeniu naprężenia początkowego wszelkie inne dane dla sprężyn obliczają się według wzorów wyżej podanych dla sprężyn pojedyńczych.

Przy obliczeniu sprężyn umieszczonych koncentrycznie przy zastosowaniu w nich rury pośredniej na wzór rur stosowanych w teleskopach, należy przyjąć pod uwagę, że

1) Naprężenie początkowe wszystkich sprężyn jest F_0, jak też naprężenia poszczególnych sprężyn w każdej danej chwili są jednakowe.

2) Ściskania poszczególnych sprężyn podczas odrzutu są różne, ale suma tych ściskań równa się całkowitej długości odrzutu

$$L_1 + L_2 + L_3 + \ldots\ldots = L.$$

Następnie przy obliczeniu należy stosować jednakowe jaknajwiększe dopuszczalne naprężenia na skręcenie dla wszystkich sprężyn, ponieważ od tego zależy najracjonalniejsze wykorzystanie materjału sprężyn.

Pozatem całkowitą długość odrzutu L należy podzielić racjonalnie na długości L_1, L_2.... ściskania każdej poszczególnej sprężyny.

W praktyce ściskania te określają się w sposób następujący: oblicza się zależnie od konstrukcji powrotnika promień zwoju sprężyny wewnętrznej lub zewnętrznej; przy obliczeniu np. promienia zwoju r_3 sprężyny wewnętrznej, wchodzącej w skład trójsprężynowej sprężyny teleskopowej:

$$r_3 = \frac{\omega \cdot \psi\ \alpha_3}{100000} \sqrt[4]{\frac{F_0^2\ G^3}{\lambda_3^3}}$$

oraz

$$\lambda_3 = \frac{l}{L_3} - 1 = \sqrt[3]{\frac{F_0^2}{r_3^4}\left(\frac{\omega\ \psi\ \alpha_3}{100000}\right)^4 G^3}$$

skąd

$$L_3 = \frac{l}{1 + \sqrt[3]{\frac{F_0^2}{r_3^4}\left(\frac{\omega\ \psi\ \alpha_3}{100000}\right)^4 G^3}}$$

Biorąc określoną wartość α_3 względnie wartość naprężenia dopuszczalnego na skręcenie k_3 możemy obliczyć L_3 oraz h_3.

Następnie ustalając pewną grę pomiędzy wewnętrzną sprężyną, a sprężyną następną, o promieniu r_2 i przyjmując to samo naprężenie dopuszczalne na skręcanie, jakie zostało przyjęte przy obliczeniu wewnętrznej sprężyny, określamy ściskanie tej drugiej sprężyny

$$L_2 = \frac{l}{1 + \sqrt[3]{\frac{F_0^2}{r_2^4}\left(\frac{\omega\,\psi\,\alpha_2}{100000}\right)^4 G^3}}$$

i następnie obliczamy h_2

Ściskanie trzeciej sprężyny (zewnętrznej) wypadnie wtenczas

$$L_1 = L - L_3 - L_2$$

skąd obliczymy

$$\lambda_1 = \frac{l}{L_1} - 1$$

oraz

$$r_1 = \frac{\omega\,\psi\,\alpha_1}{100000}\sqrt[4]{F_0^2\frac{G^3}{\lambda^3_1}}$$

Ponieważ zewnętrzna sprężyna ma obiąć resztę sprężyn, które mieszczą się w niej z pewną wymaganą grą pomiędzy niemi, więc promień zwoju r_1 powinien mieć ściśle określoną wielkość. Jeżeli zaś w ostatniem równaniu wprowadzimy znaczenie r_1 przybliżone, to określimy z tego równania α_1, względnie k_1—naprężenie dopuszczalne na skręcenie. Gdy otrzymane w ten sposób k_1, ma tę samą wartość jaką przyjęliśmy dla obydwóch sprężyn wewnętrznych — czyli k_3, wówczas te wymiary sprężyn są dla danych warunków najodpowiedniejsze. W razie zaś, gdyby otrzymana wielkość k_1 była mniejsza lub większa od przyjętych wielkości k_3 względnie k_2, to biorąc za podstawę mniejsze lub ewent. większe wartości k_2 i k_3, obliczenia wielkości k_1 wykonujemy dopóty, dopóki nie osiągniemy wielkości k_1 możliwie najbardziej zbliżonej do wartości przyjętych dla k_2 i k_3.

Ponieważ przy tych obliczeniach posługujemy się różnemi tabelami, obliczenia te można wykonać dość prędko i bez większych trudności.

Liczbowe przykłady wskazują, że sprężyny teleskopowe o jednakowem naprężeniu początkowem, o jednakowej długości sprężyny początkowo sprężonej i jednych i tych samych wymiarach zewnętrznych i wewnętrznych całego słupa, będą podczas swej pracy w powrotniku o wiele mniej obciążone, niż sprężyny wplecione jedne w

drugie, — lub też przy jednakowem największem naprężeniu, jednakowem naprężeniu początkowem i jednych i tych samych wymiarach zewnętrznych i wewnętrznych, sprężyny teleskopowe będą posiadały mniejszą długość całego słupa początkowo sprężonego, niż sprężyny wzajemnie wplecione, a więc sprężyny teleskopowe przy odpowiednio urządzonych rurach teleskopowych można uważać za sprężyny najbardziej celowe do zastosowania w powrotnikach sprężynowych.

Przy wprowadzeniu wzorów na obliczenia powrotników sprężynowych nie braliśmy pod uwagę działania dynamicznego sprężyn, jednak musimy apriori skonstatować, że ściskania sprężyn w powrotnikach następują tak szybko że działania te bezwzględnie występują pokaźnie. Jeżeli np. podczas odrzutu przedni koniec sprężyny powrotnika podlega ściśnięciu odrazu z rozpoczęciem ruchu wstecz zespołu odrzutowego, to przednie zwoje będą naprężone znacznie więcej, niż zwoje po nich następujące, a więc też te przednie zwoje będą więcej narażone na złamanie niż zwoje następne. Zagadnienie określenia naprężenia sprężyny powrotnika w każdym danem miejscu i w każdej chwili odrzutu pod wpływem działań dynamicznych, byłoby można rozwiązać jedynie zapomocą bardzo skomplikowanych obliczeń i przy dużej stracie czasu.

C. POWROTNIK GUMOWY.

Doświadczenie wskazuje, że taśma gumowa o przekroju poprzecznym 1 mm² może być rozciągnięta bez otrzymania odkształceń trwałych na długość o 10 — 11 razy większą od długości jej w stanie nierozciągniętym. Do tej granicy obciążenie F w gr. rozciągające gumę jest proporcjonalne do jej wydłużenia l w cm., tak, że:

$$F = 0{,}536\ l$$

Oznaczmy przez L długość odrzutu, a l_r, l_0 i l_f długość gumy o przekroju poprzecznym 1 mm² w stanie nierozciągniętym, w stanie rozciągniętym przy naprężeniu początkowem F_0 w powrotniku i w stanie rozciągniętym przy naprężeniu końcowem F_1:

$$l_f = l_0 + L$$

$$l_0 = l_r + \frac{F_0}{0{,}536}$$

$$l_f = l_r + \frac{F_1}{0{,}536}$$

Skądinąd oznaczając przez N ilość taśm zastosowanych w powrotniku, oraz przez R wysiłek końcowy powrotnika mamy, że

$$N F_1 = R.$$

Wreszcie przyjmując stosunek $\frac{l_f}{l_r} = 10$, lub też dla większej pewności co do sprawnego działania powrotnika:

$$\frac{l_f}{l_r} = 9$$

otrzymujemy razem pięć równań, z których znając L R i F_0 możemy obliczyć l_0, l_f, l_r F_1 i N.

Naprężenie początkowe F_0 możemy przyjąć tu w granicach, w których stosuje się ono w powrotnikach sprężynowych i pneumatycznych, tak aby wzór $N \frac{F_0 + F_1}{2} L$ przedstawiał wysiłek dostateczny do dosłania masy odrzutowej na jej miejsce przed strzałem.

Powrotnik ten był zastosowany w czasie ostatniej wojny do niektórych dział artylerji ciężkiej kolejowej, w których równia pochyła nie mogła być zastosowaną ze względu na zbytnie uszczuplenie pola ostrzału pionowego, oraz w 3" arm. pol. rosyjskiej wzór 1900[1]).

Powrotnik gumowy posiada wydajność w kilogrammetrach na kg. ciężaru całkowitego powrotnika, dwa razy większą niż przy użyciu gazu i około sześciu razy większą niż przy użyciu sprężyn metalowych; zajmuje on mniej miejsca niż powrotnik sprężynowy; jednakże pomimo tych zalet powrotnik gumowy z powodu dużej wrażliwości na temperaturę, oraz zmienności oporu, co ujemnie wpływa na stateczność działa przy strzale, nie rozpowszechnił się i został w dobie obecnej prawie zupełnie zastąpiony przez powrotniki sprężynowe i pneumatyczne.

---

*) Ppłk. inż. K. Jakowski: „Powrotniki gumowe" str. 456 „Przegl. Artyl." maj r. 1928.

Ppłk. inż. JAKOWSKI KAZIMIERZ.

SPOSÓB WYKREŚLNY OBLICZANIA ZŁOŻONYCH LUF DZIAŁOWYCH W ZAŁOŻENIU HIPOTEZY ODKSZTAŁCEŃ PRZEZ ŚLIZGANIE BEZ TARCIA.

Jako jeden z najprostszych sposobów wykreślnego obliczania złożonych luf działowych może być uważany sposób płk. Henry, który — w założeniu hipotezy Barré de Saint — Venant — podany był uprzednio w Przeglądzie Artyleryjskim[1]); sposób ten nie daje zastosować się bezpośrednio do obliczania luf w założeniu innych hipotez, dotyczących chwili gdy pod łącznem działaniem dwóch naprężeń wzajemnie prostopadłych, ściskającego *P* i rozciągającego *T*, zaczynają powstawać odkształcenia trwałe[2]); ponieważ w artylerji francuskiej została w ostatnich czasach przyjęta oficjalnie hipoteza odkształceń przez ślizganie bez tarcia (Coulomb, Tresca, Malaval), sposób wykreślny obliczania musiał być odpowiednio zmodyfikowany; istota tych zmian i wynikający stąd sposób zastosowania metody pułk. Henry będą przedmiotem niniejszej notatki.

ZASADA SPOSOBU.

Sposób ten — podobnie zresztą jak i wszystkie inne sposoby wykreślne obliczenia luf działowych — oparty jest na wzorach Lame'go,

[1]) p. Przegląd Artyl. rok 1923 — Nr. 1 str. 13; Nr. 2/3 str. 6; Nr. 4 str. 3; Nr. 9 str. 10; Nr. 10/12 str. 50.

[2]) p. Przegląd Artyl. tom VII Nr. 4 (październik 1928) str. 335 i 343.

dających naprężenia ciągnące oraz ciśnienia, które to wzory mogą być przedstawione pod postacią:

$$P = -b + \frac{a}{R^2}$$

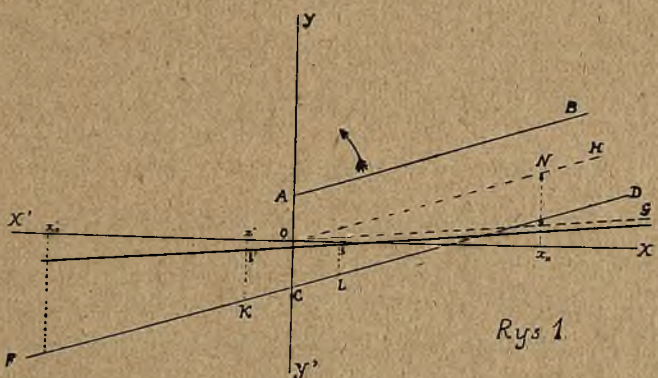
$$T = \quad b + \frac{a}{R^2}$$

oznaczmy $x = \frac{1}{R^2}$, poczem wzory te przyjmą postać

$$P = -b + ax$$

$$T = \quad b + ax$$

jeżeli jako odciętą będziemy odkładali x, a jako rzędną wartość naprężeń ciągnących T i ciśnień P, to wykresy T i P w zależności od x będą się składały (rys. 1) z dwóch linij prostych: AB dla T i CD dla



Rys 1

P; dla prostych tych rzędne, odpowiadające $x = 0$, są wzajemnie równe, lecz różnią się znakiem

$$OA = -OC$$

zaś spółczynniki kątowe tych prostych są jednakowe (a mianowicie a), wobec czego $AB \parallel CD$.

Mamy prócz tego

$$\frac{T + P}{2} = ax$$

wynika stąd, iż prosta, przedstawiająca $\frac{T+P}{2}$ przechodzi przez O i jest równoległa do AB i CD; będzie to więc prosta OH.

Naprężenia ciągnące i ciśnienia możemy również przedstawić w sposób prostszy, jak następuje: jeżeli obrócimy prostą AB, przedstawiającą naprężenie ciągnące, o 180^0 dookoła punktu O w kierunku strzałki, to prosta AB stanie się przedłużeniem prostej CD, przedstawiającej ciśnienia; będziemy więc mogli odczytywać T i P na jednej i tej samej prostej, a mianowicie: — ciśnienia P odczytywać będziemy naprawo od osi YY' i liczyć je będziemy, jako rzędne wymienionej prostej, biorąc wartości tych rzędnych od osi XX', jako dodatnie w kierunku $Y > O$; a więc dla punktu odpowiadającego $ox = \frac{1}{R^2}$, ciśnienie będzie $P = -xL$; — naprężenia ciągnące T odczytywać będziemy na lewo od osi YY' i liczyć je będziemy jako rzędne wymienionej prostej, biorąc wartość tych rzędnych od osi XX', jako dodatnie w kierunku $Y < O$; a więc dla tegoż punktu odpowiadającego $\frac{1}{R^2} = -Ox'$ naprężenie ciągnące będzie $T = x'K$.

Ażeby granica sprężystości rury została przekroczona w jej warstwie wewnętrznej, dla $x_0 = Ox_0 = \frac{1}{R^2}$, trzeba aby $T_0 + P_0 = E$, czyli $\frac{T_0 + P_0}{2} = \frac{E}{2}$, jeżeli więc odcinek $Nx_0 < \frac{E}{2}$, to granica sprężystości metalu nie jest przekroczona w wewnętrzej warstwie rury.

Tak określona „prosta naprężeń ciągnących i ciśnień" FCD odpowiada pewnemu stanowi równowagi rury; w innym stanie równowagi, naprężenia ciągnące i ciśnienia będą miały inne wartości, i prosta FCD nie będzie już przedstawiała naprężeń ciągnących i ciśnień w tym nowym stanie równowagi. Ażeby jednak ta sama prosta FCD nawet w tym nowym stanie równowagi przedstawiała nadal naprężenia ciągnące i ciśnienia, wystarczy liczyć wartości rzędnych tej prostej nie od dawnej osi odciętych XX', lecz od innej osi, którą otrzymamy biorąc powyżej punktów prostej FCD, odpowiadających danej wartości promienia R, punkty ξ i ξ' takie, iż $\xi' K$ i ξL będą równe nowym naprężeniom ciągnącym i ciśnieniom, istniejącym w danym punkcie rury w tym nowym stanie równowagi; otrzymamy w ten sposób nową oś $\xi'\xi$. Widzimy z powyższego, iż przyjęcie nowej osi $\xi\xi'$ jest równoznaczne z operacją algebraicznego odejmowania od naprężeń ciągnących i ciśnień, istniejących w poprzednim stanie równowagi, — naprężeń ciągnących i ciśnień, które przedstawia ta nowa oś $\xi\xi'$ w stosunku do poprzedniej osi XX'. Jeżeli przez początek układu współrzędnych (punkt O) przeprowadzimy prostą OG równoległą

do nowej osi $\xi\xi'$, to OG będzie prostą, przedstawiającą wartości $\frac{T+P}{2}$ nowej osi $\xi\xi'$; półsuma $\frac{T+P}{2}$ naprężenia ciągnącego i ciśnienia, liczonych na prostej FCD od nowej osi $\xi\xi'$, wyrazi się więc odcinkiem rzędnej zawartym między prostą OH, która przedstawiała $\frac{T+P}{2}$ w poprzednim stanie równowagi, a prostą OG, która przedstawia $\frac{T+P}{2}$, odpowiadające nowej osi $\xi\xi'$. Ażeby w tym nowym stanie równowagi, rura osiągnęła granicę sprężystości metalu, trzeba, aby odcinek rzędnej zawartej między OH i OG stał się równym granicy sprężystości. Poniższe przykłady pozwalają zdać sobie sprawę ze sposobu zastosowania odnośnej metody.

Powyższy wykres rys. 1 dotyczył rury prostej (pojedyńczej); metoda wykreślna nadaje się zwłaszcza dobrze dla badania wytrzymałości luf złożonych, dla których zwykła metoda obliczeń zapomocą wzorów jest zbyt długa i mozolna; to też dwa poniższe przykłady dotyczyć będą luf złożonych. Zaznaczmy wreszcie, że osie takie, jak XX' lub $\xi\xi'$ noszą również nazwy „linij zer".

ZADANIE 1.

Zbudować wykres lufy 80 mm złożonej z 2 elementów o całkowitej grubości ścianki równej jednemu kalibrowi, w założeniu, iż promień styku czyni zadość prawu Gadolina, [3]) *że obydwa elementy wykonane są ze stali o granicy sprężystości 40 kg : mm² i że przy strzale obydwa elementy są obciążone do maximum t. j. granica sprężystości zostaje osiągnięta na wewnętrznej powierzchni każdego elementu; określić zaciskanie w styku oraz najwyższe dopuszczalne ciśnienie w przewodzie.*

A więc dane zadania są następujące:

$R_0 = 40$ *mm*; $R_2 = 120$ *mm*; $E = 40$ $kg : mm^2$; $M = 22000$ $kg : mm^2$, — [4]
zaś niewiadome: R_1 (promień styku); S_1 (zaciskanie); P_0 (dopuszczalne ciśnienie w przewodzie).

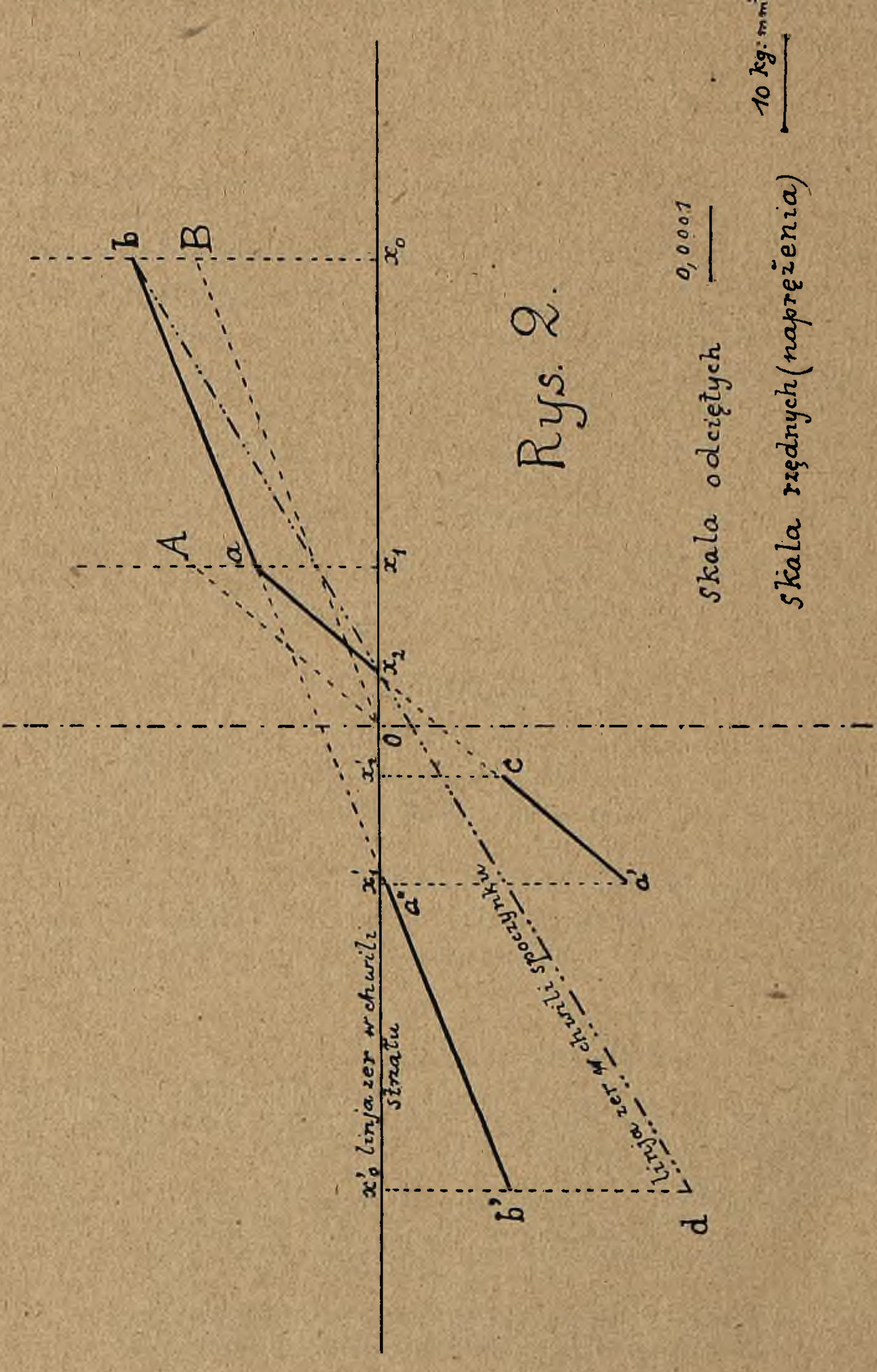
Rozwiązanie: na zasadzie prawa Gadolina mamy

$$R_1^2 = R_0 R_2 \text{ czyli } R_1 = \sqrt{40 \times 120} = 68{,}5 \ mm.$$

---

[3]) p. Przegląd Artyleryski r. 1923 Nr. 9 str. 13; i rok 1927 Nr. 3 str. 171

[4]) moduł Joung'a — patrz Przegląd Artyl. r. 1927 Nr. 1 str. 43.


b
B
x_0
A
a
x_1
x_2
0
c
d
b'
Skala odciętych
0,0001
Skala rzędnych (naprężenia)
10 kg: mm²
linja zer w chwili spoczynku

Rys. 2.

Dla zbudowania wykresu (rys. 2) na osi odciętych odkładamy w skali długości odciętych

$$ox_0 = - ox_0' = \frac{1}{R_0^2} = \frac{1}{40^2} = 0{,}000625$$

$$ox_1 = - ox_1' = \frac{1}{R_1^2} = \frac{1}{68{,}5^2} = 0{,}00021$$

$$ox_2 = - ox_2' = \frac{1}{R_2^2} = \frac{1}{120^2} = 0{,}00007$$

Jeżeli drugi (zewnętrzny) element jest w chwili strzału obciążony w ten sposób, iż granica sprężystości metalu zostaje osiągnięta w jego warstwie wewnętrznej, to — jak wynika z zasady omawianego sposobu, — odnośny bok wykresu ciśnień będzie równoległy do prostej łączącej O z punktem A, wziętym na rzędnej punktu x_1 tak, iż $OA = \frac{E}{2} = 20\ kg:mm^2$ a więc odkładając w skali rzędnych $x_1A = 20\ kg:mm^2$, i prowadząc przez x_2 prostą równoległą do OA, otrzymamy boki wykresu odpowiadające drugiemu elementowi: dla ciśnień x_2a — i dla naprężeń stycznych ca'.

W styku ciśnienie jest jednakowe na wewnętrznej powierzchni drugiego elementu i na zewnętrznej powierzchni pierwszego elementu; jest ono równe x_1a; wynika stąd, że bok wykresu ciśnień dotyczący pierwszego elementu, przejdzie przez punkt a; ponieważ przy strzale pierwszy element jest również obciążony aż do osiągnięcia granicy sprężystości w jego warstwie wewnętrznej, a więc biorąc na odciętej punktu x_0 długość $x_0B = \frac{E}{2} = 20\ kg:mm^2$ w skali rzędnych i prowadząc przez punkt a prostą równoległą do OB, otrzymamy odpowiadające pierwszemu elementowi boki wykresu — dla ciśnień ab, dla naprężeń stycznych $a''b'$.

Jak wiadomo,[5]) zaciskanie w stylu jest równe różnicy naprężeń stycznych w stykających się ze sobą powierzchniach, dzielonej przez moduł Young'a;

$$S_1 = \frac{T_1'' - T_1'}{M}$$

różnicę naprężeń stycznych w styku daje nam wykres: naprężenie styczne na wewnętrznej powierzchni elementu Nr. 2 jest x'_1a'; naprężenie styczne na zewnętrznej powierzchni elementu Nr. 1 jest x'_1a'' a więc ich różnica $x_1'a' - x_1'a'' = a'a'' = 27\ kg:mm^2$ w skali rzęd-

[5]) Por. Przegl. Artyl. r. 1923 Nr. 9 str. 11.

nych i zaciskanie $S_1 = \frac{27 \ kg : mm^2}{22000 \ kg : mm^2} = 0{,}0012$ czyli 1,2 *mm* na metr.

Najwyższe dopuszczalne ciśnienie w przewodzie w chwili strzału będzie dane przez rzędną bx_0 (odległość punktu *b*, dającego ciśnienie na wewnętrznej powierzchni elementu Nr. 1, do osi zer w chwili strzału t. j. do osi odciętych).

$P_0 = bx_0 = 26 \ kg : mm^2$ w skali rzędnych, czyli 2600 atmosfer.

Linja zer w stanie spoczynku dana jest przez prostą x_2b, gdyż w stanie spoczynku ciśnienie będzie równe zeru (właściwie 1 atm. co uważamy za znikomo małe); wynika stąd, że naprężenie styczne powstałe na wewnętrznej warstwie elementu Nr. 1 na skutek bandażowania, będzie $b'd = 20 \ kg : mm^2 < E$, a więc bandażowanie nie wywołało w warstwie wewnętrznej naprężeń przekraczających granicę sprężystości metalu.

ZADANIE 2.

Zbudować wykres i określić najwyższą moc sprężystą lufy złożonej z dwóch elementów zrobionych ze stali o granicy sprężystości $E = 40 \ kg : mm^2$, w której znamy promień wewnętrzny 40 mm, promień styku 78 mm, promień zewnętrzny 109 mm oraz wartość zaciskania w styku 0,0014.

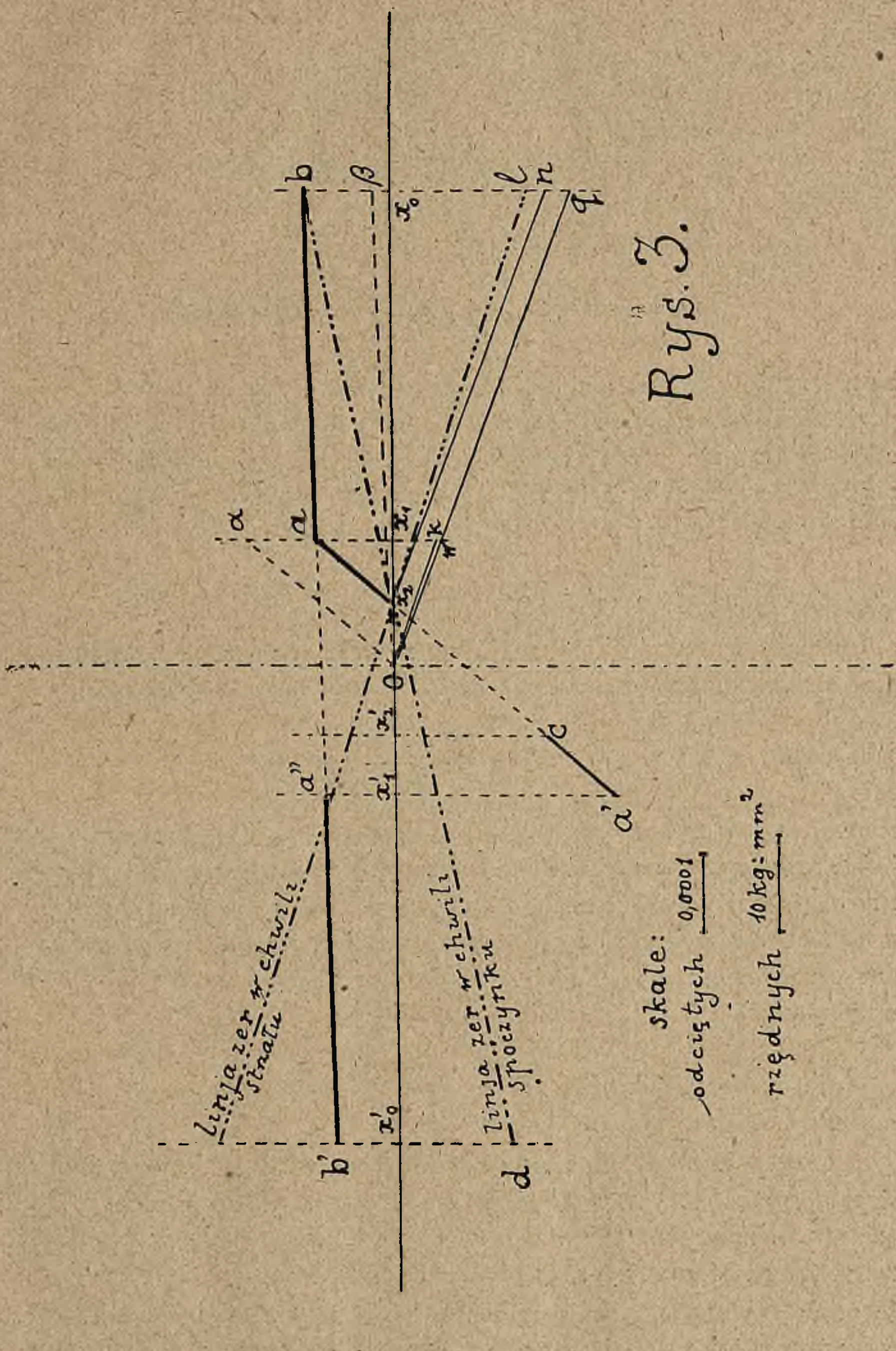
A więc dane zadania są następujące:

$R_0 = 40 \ mm \quad R_1 = 78 \ mm \quad R_2 = 109 \ mm$
$S_1 = 0{,}0014 \quad E = 40 \ kg : mm^2 \quad M = 22000 \ kg : mm^2$

zaś niewiadoma — dopuszczalne ciśnienie w przewodzie.

Istnieje zasadnicza różnica między zadaniem tem a poprzedniem: podczas gdy w zadaniu 1 — było, — jako jeden z warunków, zaznaczone, że przy strzale obydwa elementy są obciążone do maximum, t. zn. granica sprężystości w ich warstwie wewnętrznej zostaje osiągnięta $(T + P = E)$ i poszukiwano takiej wartości zaciskania S_1, aby ten warunek był wypełniony — to w niniejszem zadaniu warunek ten nie istnieje i stopień obciążenia przy strzale będzie konsekwencją danej wartości zaciskania $S_1 = 0{,}0014$.

Dlatego też nie możemy przy budowaniu wykresu postępować tu tak, jak w zadaniu 1 (to jest brać boki wykresu ciśnień równolegle


skale:
odciętych 0,0001
rzędnych 10 kg: mm²
linja zer w chwili spoczynku

Rys. 3.

do prostych OA i OB — rys. 2). Postępujemy natomiast jak następuje:

Wziąwszy, jak uprzednio, na osi odciętych (rys. 3)

$$Ox_0 = -Ox_0' = \frac{1}{R_0^2} = \frac{1}{40^2} = 0{,}000625$$

$$Ox_1 = -Ox_1' = \frac{1}{R_1^2} = 0{,}000164$$

$$Ox_2 = -Ox_2' = \frac{1}{R_2^2} = \frac{1}{109^2} = 0{,}000084,$$

bierzemy dowolny kierunek pierwszego boku wykresu ciśnień x_2a odpowiadający drugiemu (zewnętrznemu) elementowi; przedłużenie odcinka x_2a daje między rzędnemi punktów x'_1 i x'_2 bok ca' wykresu naprężeń stycznych w tym samym zewnętrznym elemencie; biorąc następnie na rzędnej punktu x'_1 odcinek (w skali naprężeń)

$$a'\ a'' = S_1M = 0{,}0014 \times 22000 = 30{,}8\ kg : mm^2$$

otrzymamy punkt a'', który daje naprężenie styczne na zewnętrznej powierzchni elementu wewnętrznego, — a to na zasadzie wzoru

$$S_1 = \frac{T_1'' - T_1'}{M}$$

omówionego w zadaniu poprzedniem; ponieważ skądinąd ciśnienie jest jednakowe na wewnętrznej powierzchni elementu bandażującego i zewnętrznej powierzchni elementu bandażowanego, więc dla otrzymania boków wykresu, dotyczących elementu wewnętrznego wystarcza przeprowadzić prostą $a''a$ co daje w elemencie tym (Nr. 1 — wewnętrzny)

dla ciśnienia bok ab

dla naprężeń stycznych bok $a''b'$.

Ażeby określić ten stan równowagi, a więc tę linję zeł przy strzale, przy którym nie będzie przekroczona granica sprężystości ani w wewnętrznym ani w zewnętrznym elemencie, — postępujemy w sposób następujący: przez punkt O prowadzimy prostą równoległą do boku x_2a aż do przecięcia się w punkcie α z rzędną punktu x_1, poczem na tej rzędnej bierzemy odcinek αk równy w skali rzędnych połowie granicy sprężystości

$$\alpha k = \frac{E}{2}$$

na zasadzie uprzednio wyłożonej zasady sposobu linja zer przy strzale, dla której granica sprężystości w wewnętrznej warstwie elementu bandażującego będzie osiągnięta, będzie dana przez prostą przechodzącą przez x_2 i równoległą do Ok; przedłużając tę prostą równoległą do Ok aż do przecięcia w punkcie l z rzędną punktu x_0 widzimy, że przy tej linji zer powstanie na powierzchni wewnętrznej elementu bandażowanego ciśnienie

$$bl = 22{,}4 \ kg : mm^2$$

Następnie, prowadząc przez O prostą równoległą do boku ab aż do przecięcia w punkcie β z rzędną punktu x_0 i biorąc na tej rzędnej w skali rzędnych

$$\beta q = \frac{E}{2}$$

otrzymamy nową linję zer przechodzącą przez x_2 i równoległą do Oq, dla której zostaje osiągnięta granica sprężystości w warstwie wewnętrznej elementu bandażowanego, co daje w tej warstwie ciśnienie $bn = 26 \ kg : mm^2$; prosta Oq przecina rzędną punktu x_1 w punkcie w; ponieważ $aw > ak$, a więc przy tej linji zer $x_2 n$, t. j. przy ciśnieniu w przewodzie $bn = 26 \ kg : mm^2$, granica sprężystości metalu w warstwie wewnętrznej elementu bandażującego zostanie już przekroczoną; natomiast przy ciśnieniu w przewodzie $bl = 22{,}4$ kg : mm², granica sprężystości w wewnętrznej warstwie elementu bandażowanego osiągnięta nie będzie, bo jak wskazuje wykres

$$bl < bn$$

Wynika stąd, że:

1) dla ciśnienia w przewodzie bn granica sprężystości w elemencie bandażowanym jest osiągnięta, zaś w elemencie bandażującym jest p r z e k r o c z o n a;

2) dla ciśnienia w przewodzie bl granica sprężystości w elemencie bandażującym jest osiągnięta, zaś w elemencie bandażowanym nie zostaje jeszcze o s i ą g n i ę t a;

ponieważ zaś przy najwyższem dopuszczalnem ciśnieniu w przewodzie nie może być przekroczona granica sprężystości ani w jednym ani w drugim elemencie, — więc ciśnienie bn nie jest dopuszczalne i najwyższe dopuszczalne ciśnienie w przewodzie wyniesie:

$bl = 22{,}4\ kg : mm^2 = 2240\ kg : cm^2$ t. j. około 2240 atmosfer.

Ażeby wreszcie zdać sobie sprawę, czy bandażowanie nie wywołało w elemencie bandażowym naprężeń, przekraczających granicę sprężystości metalu, postępujemy, jak w zadaniu 1-em, a mianowicie: linja zer w czasie spoczynku będzie $x_2\ b$; a więc naprężenie styczne powstałe na wewnętrznej warstwie elementu bandażowanego na skutek bandażowania będzie (w skali rzędnych),

$$b'd = 18{,}4\ kg : mm^2 < E$$

a więc w stanie spoczynku granica sprężystości metalu w tej warstwie nie została przekroczona na skutek bandażowania.

UWAGA OGÓLNA.

Jak wiadomo[6]) działa francuskie skonstruowane przed wojną, obliczane były na podstawie hipotezy Saint — Venant, zaś najwyższa moc sprężysta lufy złożonej, wyprowadzona na zasadzie tej hipotezy, przewyższa znacznie w pewnych wypadkach moc sprężystą, obliczoną na zasadzie przyjętej obecnie hipotezy odkształceń przez ślizganie bez tarcia; należy więc przypuścić, iż przy strzelaniu próbnem w działach tych musiały zachodzić odkształcenia trwałe, co w rzeczy samej było stwierdzone niejednokrotnie odnośnie warstwy wewnętrznej, a więc i średnicy wewnętrznej elementu wewnętrznego i otrzymało nazwę „samowzmocnienia balistycznego".

Z zadania 2-go wynika wszakże, iż przy rozwinięciu pewnego ciśnienia w przewodzie, które dla danej lufy wynosi 2240 — 2600 kg. cm², granica sprężystości w warstwie wewnętrznej elementu zewnętrznego (bandażującego) zostanie przekroczona, natomiast element wewnętrzny (bandażowany) otrzyma jedynie odkształcenia sprężyste; wynika stąd, że w tych granicach ciśnienia nie skonstatujemy powiększenia średnicy przewodu, jednakowoż zjawisko „samowzmocnienia balistycznego" będzie miało miejsce odnośnie elementu bandażującego, i wyrazi się: 1° w pewnem powiększeniu jego średnicy wewnętrznej, 2° w zwiększeniu granicy sprężystości jego warstwy wewnętrznej, przyczem ta granica sprężystości nie będzie stałą w całej masie elementu bandażującego, lecz zmienną na zasadzie praw teorji samo-

[6]) p. Przegląd Artyl. tom VII Nr. 4 (październik 1928) str. 345.

wzmocnienia; w ten sposób warunki równowagi dla następnego strzału będą zupełnie inne, niż były dla pierwszego; na skutek zmniejszenia zaciskania warstwa wewnętrzna elementu bandażowanego może otrzymać odkształcenie trwałe, wartość zaciskania może być ponownie zmieniona,—to samo przy strzale następnym i t. d., aż do chwili, gdy na skutek definitywnie przyjętych odkształceń wytworzy się trwały stan równowagi, który jednak może być zupełnie różnym od tego, który był przewidziany przy projektowaniu działa.

W odwrotnym porządku będą zachodziły zjawiska, jeżeli przy strzale granica sprężystości zostaje najprzód przekroczona dla elementu bandażowego, lecz i wówczas lufa dążyć będzie do pewnego trwałego stanu równowagi, który definitywnie określi jej moc sprężystą.

Te zjawiska, które są prawdziwem samowzmacnianiem zespołu lufy złożonej, tłumaczą między innemi dlaczego lufy, zaprojektowane w założeniu hipotezy Saint — Venant, wytrzymywały ciśnienia o wiele przekraczające ich początkową moc sprężystą rzeczywistą, jeżeli przyjmiemy, iż rzeczywistość odpowiada hipotezie odkształceń przez ślizgane bez tarcia (np. lufa obliczona na wykresie rys. 3, jest bardzo zbliżona do wymiarów i charakterystyk lufy a. p. 75 mm wz. 1897; tymczasem normalne ciśnienie robocze w tej ostatniej wynosi średnio 2500 atmosfer, zaś ciśnienie przy próbach odbiorczych dochodzi do 2900 atm., — podczas gdy rozwiązanie zadania 2-go wskazuje, że okres sprężysty dla zespołu dotyczącej lufy kończy się już przy przekroczeniu ciśnienia 2240 atmosfer).

662.231 + 662.35

Inż. BERGER EUGENJUSZ.

METODY BADANIA STAŁOŚCI CHEMICZNEJ BAWEŁNY STRZELNICZEJ I PROCHÓW BEZDYMNYCH.

(Ciąg dalszy).

Rozpatrzone poprzednio metody badania stałości bawełny strzelnicznej i prochów bezdymnych (Abla i pokrewne) nie czynią, jak to było zaznaczone, zadość wymaganiom, jakie stawiać należy metodom dobrym. Wkrótce już po wprowadzeniu próby Abla, Hess (1879) wypowiedział zdanie, że dla oceny stałości bawełny strzelniczej nie wystarczy poprzestać na stwierdzeniu chwili, w której rozpoczyna się jej rozkład, a konieczne jest śledzenie przebiegu dalszego rozkładu w ciągu dłuższego okresu czasu.

Wobec powyższego zaproponował on metodę znaną jako

5) *Próba Hessa* (Mitteilungen Artillerie u. Geniewesen, 10 (1879) str. 345.

Polega ona na ogrzewaniu badanej nitrocelulozy do 70° C. w probówkach, przez które stale jest przepuszczany strumień czystego, suchego powietrza. To ostatnie, wraz z lotnemi produktami rozkładu bawełny strzelniczej zostaje wprowadzone przez rurkę szklaną do rozcieńczonego roztworu jodku potasu i skrobi. Hess zalecał zaobserwowanie następujących pięciu okresów rozkładu:

1) chwili, kiedy powstają pierwsze ślady zabarwienia cieczy w miejscu dopływu powietrza,

2) chwili, gdy dookoła wylotu rurki szklanej utworzył się wyraźny, zamknięty pierścień zabarwiony,

---

*) p. Wiadomości Techniczno-Artyleryjskie Nr. 1 str. 88.

3) gdy zabarwiona została cała ciecz w naczyniu,

4) gdy warstwa cieczy, o grubości 5 cm stała się nieprzezroczysta, wreszcie

5) chwili ostatecznego rozkładu (wybuchu lub zapłonienia) badanej bawełny strzelniczej.

Metoda Hessa nie doznała przychylnego przyjęcia, mimo, że w owym czasie, stanowiła bezsporny postęp w porównaniu z innemi metodami. Na przeszkodzie jej rozpowszechnienia stał, przedewszyst-
todami. Na przeszkodzie jej rozpowszechnieniu stał, przedewszyst-
sunkowo niskiej temperatury (70° C). Zaznaczyć należy, że próba Hessa jest pierwowzorem szeregu metod badania stałości materjałów wybuchowych, w których usuwane są produkty rozkładu tych materjałów w miarę ich powstawania.

Prócz próby Hessa, do kategorji jakościowych prób stałości, w których są bardziej posunięte stadja rozkładu, należą również metody: t. zw. niemiecka (w 135° C.), francuska Vieille'a, Simona Thomas'a i szereg innych, polegających na poddawaniu, w ciągu dłuższego czasu, badanych materjałów wybuchowych, działaniu stałej temperatury (dla rozmaitych metod w granicach od 60° do 100° C.). Metodom tym Niemcy nadali nazwę „Warmlagermethoden", zaś Amerykanie — „surveillance test". W wymienionych wyżej próbach wskaźnikiem rozkładu jest albo zmiana zabarwienia odpowiednio dobranego papierka odczynnikowego, lub też pojawienie się w naczynku nad badaną próbą materjału wybuchowego brunatno - czerwonych (w początkowym okresie rozkładu — żółtawych) tlenków azotu, — produktów rozkładu badanego materjału.

Wszystkie próby, oparte na obserwowaniu chwili pojawienia się tlenków azotu, noszą w Anglji i Ameryce wspólną nazwę „fume tests".

Zarówno już wyliczone próby, jak i szereg innych, o których mowa będzie dalej, wymagają urządzeń, umożliwiających ogrzewanie badanych materjałów w możliwie stałej temperaturze.

Do tego celu służą specjalne łaźnie termostaty, budowane z miedzi, mosiądzu, ogrzewane bądź to gazem (lub palnikami naftowemi, typu „Primus"), z zastosowaniem w razie potrzeby urządzeń samoczynnie regulujących temperaturę, bądź też elektrycznością. Dokładne rozpatrzenie zasad działania i budowy rozmaitych typów termostatów zaprowadziłoby nas zbyt daleko i mogłoby być tematem specjalnej pracy; obecnie poprzestaniemy na zaznaczeniu, że termostaty są przeważnie 2-ch typów. W jednym z nich stałą temperaturę utrzymujemy

drogą zastosowania cieczy o odpowiednim stałym punkcie wrzenia (takiemi są, np. chloroform dla 60° C., czterochlorek węgla (CCl_4) — dla 75° C, trójchloroetylen ($CHCl{:}CCl_2$) dla 85° C, izoamylowy alkohol dla 132° C. i t. p.). Tego rodzaju łaźnie są zaopatrzone w chłodnice zwrotne.

W drugim typie termostatów stosowane są ciecze niepalne (np. roztwory soli mineralnych w wodzie), lub oleje mineralne o wysokim punkcie zapłonienia. Ten ostatni typ wymaga starannego regulowania dopływu ciepła, celem utrzymywania stałej temperatury łaźni.

Przechodzimy do rozważań poszczególnych metod:

6) Tak zwana *próba niemiecka* (w 135°).

Powstała ona z pierwotnej *niemieckiej* próby cieplnej, zgodnie z którą badany materjał wybuchowy ogrzewano w 132° C. aż do pojawienia się wyraźnych par dwutlenku azotu.

W następstwie próba, w zmienionej formie, została przyjęta, jako przepisowa, przez „Ordnance Department" Stanów Zjednoczonych. Wykonanie jej odbywa się obecnie w następujący sposób:

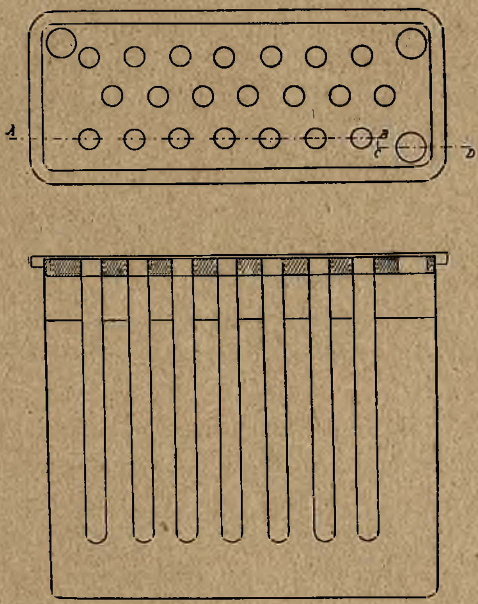
Badanego prochu, pokrajanego na kawałeczki o wymiarach największych 2,5 mm i odsianego od pyłu, lub badanej bawełny strzelniczej (uprzednio suszonej w 42° C. w ciągu 4 do 5 godzin) odważa się dwie porcje po $2^1/_2$ gr każda. Ilości te umieszcza się w probówkach z dobrego szkła o wymiarach: wysokość — 290 mm, średnice zewnętrzne — 18 mm, wewnętrzne — 15 mm. Podczas ogrzewania wspomniane probówki zamyka się luźno watą lub też korkami, w których wywiercone są otwory o średnicy 4 mm. W razie badania bawełny strzelniczej ubija się ją w dolnej części probówki, tak, by utworzony słupek miał 5 cm wysokości. W każdej probówce umieszcza się kawałek normalnego papierka metylofioletowego o wymiarach 70 × × 20 mm (przygotowanego ściśle według obowiązującego przepisu), w ten sposób, aby się trzymał ścianek, dzięki swej elastyczności i aby dolny brzeg jego znajdował się o 25 mm powyżej warstwy prochu lub bawełny strzelniczej.

W pierwszym okresie stosowania tej próby w użyciu były zamiast metylofioletowych, niebieskie papierki lakmusowe, wyrobu nowojorskiej firmy Eimer i Amend, według przepisu Frankford Arsenal.

Termostat-łaźnia (por. rys. 7) posiada formę prostokątną i zrobiona jest z grubej blachy miedzianej. W zamykającej ją szczelnie górnej pokrywie osadzonych jest w 3-ch rzędach 21 probówek miedzianych lub mosiężnych, długości 28,5 cm, które tworzą gniazda

dla wyżej wspomnianych probówek szklanych. W pokrywie znajdują się prócz tego 3 otwory, o większej średnicy: do napełniania termostatu cieczą, do osadzenia termostatu w cieczy i dla chłodnicy zwrotnej.

Temperaturę łaźni reguluje się dokładnie w granicach 134,5^0 ± 0,5^0 C. Do napełniania łaźni brany jest ksylol handlowy (94 — 95% ksylolu i 5—6% toluolu) lub też odpowiednio dobrany wodny roztwór



Rys. 7

gliceryny. Regulowanie temperatury wrzenia cieczy jest b. łatwe i odbywa się drogą zmiany wzajemnego stosunku składników. Tą drogą można wyrównać wpływ zmiany ciśnienia barometrycznego. Gdy temperatura łaźni ustaliła się w wymaganych granicach, wstawia się do niej uprzednio przygotowane probówki z badanym materjałem. W celu dokładniejszej kontroli bada się z każdej partji równolegle dwie próbki. Jednorazowo zatem w jednym termostacie poddaje się próbie 10 rodzajów prochu lub bawełny strzelniczej. (W 21-ej probówce umieszczony zostaje termometr). Odnotowuje się czas wstawienia probówek; po upływie 20 minut wyciąga się kolejno na *chwilę* ogrzane probówki tak, by widoczna była górna połowa papierków wskaźnikowych. Przebieg rozkładu kontroluje się następnie co 5 minut. Pierwszą część próby uważa się za skończoną, gdy kolor papier-

ka metylofioletowego zamieni się na różowy, o specjalnym odcieniu „łososiowym" (salmon-pink).

Za wynik próby uważa się wynik gorszy (z 2-ch równoległych prób). Zgodnie z przepisami amerykańskiemi, całkowita zmiana koloru papierka na „łososiowy" nie powinna zachodzić przed upływem 30-tu minut — dla bawełny strzelniczej, 45-ciu minut — dla prochów o lotnym flegmatyzatorze, np., dwunitrotoluolu, wreszcie — 60-ciu minut dla pozostałych gatunków prochów nitrocelulozowych.

Prochy nitroglicerynowe badane są w temperaturze 120° C.

Po zakończeniu pierwszej części próby nie przerywa się ogrzewania badanych materjałów wybuchowych, a obserwuje się chwilę pojawienia się w probówkach brunatnych par tlenków azotu.

Bawełnę strzelniczą uważa się za dostatecznie stałą, jeśli tlenki azotu nie są widoczne przed upływem 45 minut, dla prochu nitrocelulozowego wymagany jest okres 2-ch godzin.

Wszystkie badane materjały ogrzewa się w łaźni w ciągu 5-ciu godzin. Przed upływem tego czasu badany materjał nie powinien wybuchnąć (zapalić się).

Opisana próba jest stosowana u nas do badania stałości prochów bezdymnych. Drobne zmiany zostały wprowadzone do aparatury.

Główną zaletą omawianej próby jest to, że przeprowadzenie jej nie wymaga długiego czasu i że nadaje się ona do masowych badań. Poważną wadą jest jej subjektywny charakter: zarówno stwierdzenie odpowiedniej zmiany koloru papierka metylofioletowego, jak i dostrzeżenie tlenków azotu, zależne jest w pewnym stopniu od warunków oświetlenia, jak również od indywidualnych cech eksperymentatora. Może to spowodować niezgodne wyniki próby dla tego samego materjału, badanego w rozmaitych miejscach. Wysoka temperatura próby, siłą rzeczy, wpływa na uwydatnianie się wszelkich błędów doświadczalnych w większym stopniu, niżby to miało miejsce w razie stosowania niższej temperatury.

Mimo tych wad *A. Sy* zalicza, t. zw., próbę niemiecką do najlepszych jakościowych prób badania stałości prochów. Do takiego samego wniosku doszedł swego czasu O. Guttmann (Zwanzig Jahre Fortschritte in Explosivstoffen, 1909), po przeprowadzeniu wespół z Macdonald'em i Macnab'em szeregu badań porównawczych. Bardzo poważnej krytyce poddali ostatnio próbę metylofioletową F. L e n z e i L. M e t z (Ztschr. für das ges. Schiess- und Sprengstoffwesen, 1928, str. 341 i 342).

Stwierdzają oni, przedewszystkiem, że przygotowany według oryginalnego przepisu papierek metylofioletowy, który jakoby ma być nieczuły na wpływy światła, atmosferyczne oraz na bezwodnik kwasu węglowego, kwas octowy, solny i siarkowy, jest nim w rzeczywistości, jedynie względem pierwszych 4-ch czynników, natomiast odbarwia się pod wpływem kwasów siarkowego i solnego. Poza tem wspomniani autorzy zaznaczają, jako bardzo *poważną wadę* — rozmaity stopień czułości papierków, przygotowanych w rozmaitych pracowniach. Nasze dotychczasowe doświadczenia wykazały, że w razie ścisłego stosowania się do przepisu, otrzymuje się zawsze papierki o mniej więcej jednakowej czułości. Naogół najwięcej zarzutów spotyka 1-szą część próby (polegającą na zmianie zabarwienia papierka metylofioletowego). Jest to zupełnie zrozumiałe, gdyż oczywiście omawiana część próby oparta jest na działaniu kwaśnych par nitrowych na papierek wskaźnikowy. Mogą jednak zajść wypadki, że pewne gatunki prochów wydzielą w początkowym okresie ogrzewania nieznaczne ilości tlenków azotu, wystarczające do spowodowania zmiany zabarwienia, natomiast przy dalszem ogrzewaniu ulegają b. powolnemu rozkładowi. Prochy tego rodzaju wykażą na zasadzie próby metylofioletowej *mniejszą* stałość, niż prochy, których stopień rozkładu w początkowym okresie próby jest nieznaczny, ale zato wzrasta gwałtownie w następnych. Zaznaczyć jednak należy, że tego rodzaju błędne wnioski, wysnute z przedwczesnego odbarwienia papierka metylofioletowego są następnie korygowane na zasadzie dalszych obserwacyj (tlenki azotu, wybuch).

7) *Próba Vieille'a* (Mém. Poudr. Salp. XV, 1909/10, str. 1, 3 i dalsze.

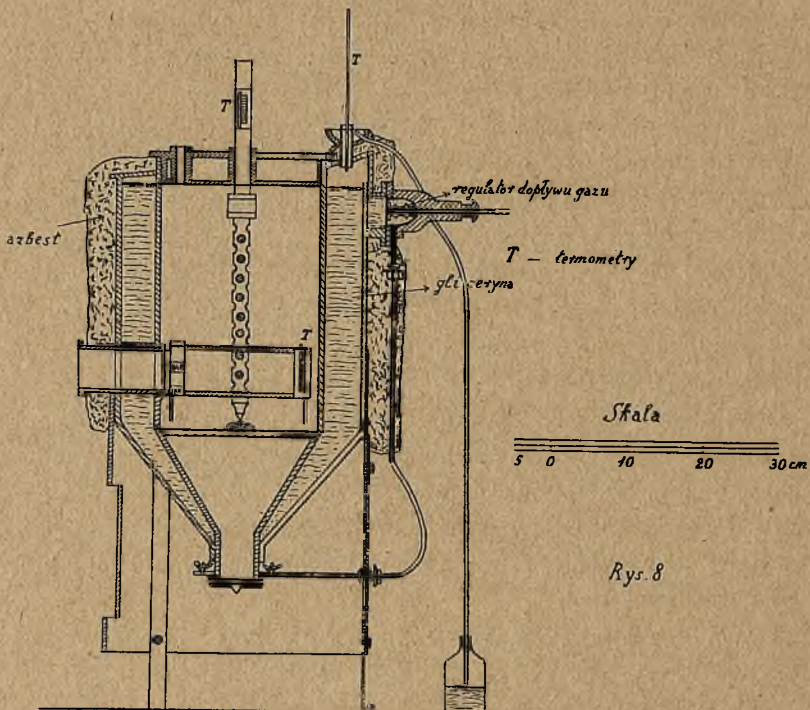
Próba ta, wprowadzona przez wynalazcę prochu bezdymnego, Vieille'a w r. 1896, jest do dzisiejszego dnia przepisową metodą badania stałości bawełny strzelniczej i prochów bezdymnych we Francji.

Oparta jest na działaniu kwaśnych par nitrowych na odpowiednio przygotowany papierek lakmusowy.

Od próby poprzedniej różni się zastosowaniem niższej temperatury (około 110° C.), a przeto i dłuższym czasem wykonania. Ogrzewanie badanych próbek odbywa się w okrągłym, miedzianym termostacie (por. rys. 8-my), o podwójnych ściankach i dnie. Przestrzeń między ściankami napełnia się jasną gliceryną (o 28° Bé), tak, by w pokojowej temperaturze poziom cieczy nie dochodził o 5 cm do górnego brzegu termostatu. Część miedziana aparatu otoczona jest że-

laznym płaszczem, zaopatrzonym w drzwiczki. Do podgrzewania służy palnik gazowy, specjalny regulator temperatury automatycznie reguluje dopływ gazu. Do kontroli temperatury służą dwa termometry, jeden umieszczony w ogrzewanej glicerynie, drugi zaś w części powietrznej łaźni.

Probówki, używane do próby Vieille'a umieszczone są w specjalnej podstawie, obracającej się dookoła osi pionowej, co ułatwia ba-



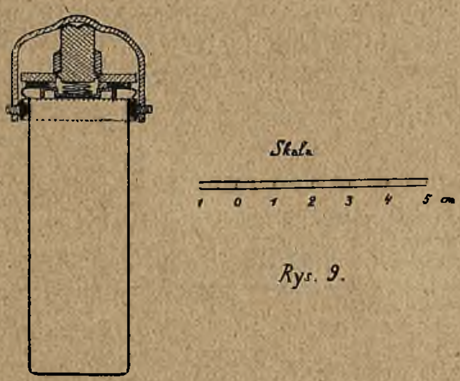
Rys. 8

danie zmiany koloru papierków lakmusowych, przez okienko szklane w termostacie. Probówki (por. rys. 9-ty) z dobrego szkła mają objętość około 35,5 cm³. Są one zamykane szczelnie zapomocą korków metalowych i pakunków gumowych (2 mm grubości). Specjalnej konstrukcji strzemiączko przyciska korek do probówki. Dwa wklęsłe lusterka, ustawione obok okienka termostatu, ułatwiają obserwację. Niebieskie papierki lakmusowe o wymiarach (65 mm × 18 mm) posiadają stałe określone miano, obliczone tak, że od 1 mgr kwasu siarkowego (monohydratu) niebieski kolor papierka przechodzi w wyraźnie różowy.

Wykonanie próby odbywa się w sposób następujący: Doprowadza się temperaturę wewnętrznej powierzchni części termostatu do 108,5° C i utrzymuje się ją przez cały czas trwania doświadczenia na tej wysokości.

Każdego badanego prochu bierze się 50 gr; ilość powyższą dzieli się na 5 równych części i umieszcza w 5-ciu probówkach, zaopatrzonych w nalepki z odpowiedniemi napisami.

Do każdej probówki wkłada się przepisowy niebieski papierek lakmusowy, zwinięty cylindrycznie, między ścianką probówki, a badanym prochem. Papierek winien być wyraźnie widoczny przez



Rys. 9.

okienko-wziernik termostatu. Ocenę zmiany zabarwienia ułatwia porównywanie jego z zabarwieniem małych porcelanowych cylindrów, w liczbie pięciu, zabarwionych odpowiednio na kolory: niebieski, fioletowy, fioletowo-różowy, różowawy i *wyraźnie różowy*. Gdy papierek lakmusowy przyjmie ostatnie z wymienionych zabarwień, oznacza to koniec każdorazowej z prób.

Do ogrzanej do 108,5° C. łaźni wstawia się z góry podstawę z 10 przygotowanemi probówkami, zawierającemi badane prochy, poczem zamyka się łaźnię pokrywą.

Odnotowuje się dokładnie czas rozpoczęcia próby. Ogrzewanie prowadzi się okresami, nie dłużej niż 10 godzin dziennie. Próbka prochu, która po pierwszem 10-ciogodzinnem ogrzewaniu nie spowodowała zmiany koloru papierka na jednostajny różowy, zostaje wyjęta z termostatu, przyczem odnotowuje się, że próbka wytrzymała 10 godzin. O ileby całkowita zmiana zabarwienia papierka nastąpiła wcześniej, to próbkę wyjmuje się skoro to nastąpiło i zapisuje się czas, jaki upłynął od początku doświadczenia. Po wyjęciu probówek z łaźni, wy_

sypuje się z nich proch na kawałki czystego papieru i oddziela się cząsteczki, jedne od drugich, by ułatwić wydzielenie się kwaśnych par. Koło każdej próbki wysypanego prochu umieszcza się nową, czystą probówkę z nalepką, korkiem i świeżym papierkiem lakmusowym. Następnego dnia proch wsypuje się do przygotowanych probówek bezpośrednio przed rozpoczęciem badania. Odbywa się ono w sposób wyżej opisany. Ogrzewanie jednej i tej samej próbki prochu powtarzane jest tak długo, aż zostanie osiągnięte poczerwienienie papierka lakmusowego przed upływem 60 minut. Poszczególne czasy, odnotowane w ciągu kolejnych badań, dodaje się razem i otrzymuje się w ten sposób t. zw. granicę „wytrzymałości" (stałości) badanego prochu, — „résistance à durées totalisées à 110° C."

Poniżej podany przykład (tabl. 7-a) zobrazuje nam dokładniej sposób postępowania.

TABLICA 7-ma.

Ilość kolejnych ogrzewań w 108,5°C	1	2	3	4	5	6	7	8
Poczerwienienie papierka nastąpiło po upływie godzin	$8^1/_2$	$6^1/_4$	$4^2/_3$	$3^1/_2$	$2^5/_6$	$2^1/_{12}$	$1^1/_2$	$^5/_6$
Suma czasów ogrzewania próbki . .				$30^1/_6$ godz.				

Otrzymana „wytrzymałość" jest przez Vieille'a uważana za miarę stałości chemicznej badanego materjału. Nie powinna ona być mniejsza od pewnego minimum, które wynosi dla bawełny strzelniczej — 10 godzin, dla prochów karabinowych i do dział małokalibrowych (do 120 mm) — 20 godzin, dla prochów do dział ciężkich (powyżej 120 mm) — 30 godzin.

Wychodząc z założenia, że w rozmaitych temperaturach zjawiska rozkładu zachodzą z rozmaitą szybkością, ale w sposób równoległy, P. Veille (Mém. Poudr. Salp. XV, 1909 10, str. 88), obliczył, że proch nitrocelulozowy, który w 110° C., w ciągu 1 godziny wydziela określoną ilość (0,1 cm³ gazu z 1 gr prochu) tlenków azotu, wydziela tę samą ilość w 75° C, w ciągu jednego dnia, w 40° C. — w ciągu miesiąca, a w 15° — 20° C. — w ciągu roku. Powyższe obliczenia tworzą podstawy sądu o stałości chemicznej prochu, nie są jednak oparte na zupełnie pewnych zasadach. Wartość wyników próby Vieille'a była niejednokrotnie kwestjonowana (chociażby z tego względu, że francuskie prochy *B* niejednokrotnie ulegały samoczynnym zapaleniom, powodując katastrofy).

Sy podkreśla, że próba *nie jest dokładna;* w praktyce nie jest

możliwe osiągnięcie jednakowo szczelnego zamknięcia probówek, wobec czego, mamy w probówkach rozmaite ciśnienia ,co wywiera zmienny wpływ na szybkość rozkładu badanego materjału. Potwierdzają to również oficjalne źródła francuskie, stwierdzające, że przy badaniu jednej i tej samej partji bawełny strzelniczej w 2-ch rozmaitych prochowniach, uzyskiwano niekiedy wyniki, różniące się o 2 godziny.

Następna z kolei próba stałości omawianego typu przeprowadzana jest w temperaturze jeszcze niższej. Jest to:

8) Próba *Simona Thomasa* (Zeitschr. f. angew. Chemie, 11, 1027 (1898)).

Oparta jest na stwierdzeniu pojawienia się tlenków azotu, jako pierwszych produktów rozkładu prochu bezdymnego lub bawełny strzelniczej, przy dłuższem ogrzewaniu ich w stałej temperaturze (około 100° C.) Badane próbki materjałów wybuchowych, w ilości 2,5 do 3 gr, umieszcza się w szklanych probówkach z starannie dotartemi korkami i ogrzewa się w łaźni olejowej (o 100° C.) w ciągu 8-iu godzin. Po upływie tego czasu, przerywa się ogrzewanie łaźni i w czasie jej ostygania probówki pozostają w łaźni. Ogrzewanie powtarza się w ciągu następnych dni i odnotowuje się czas, kiedy w probówce ukażą się po raz pierwszy pary brunatno-czerwonawe, widoczne dla oka. W celu ułatwienia obserwacji, probówkom nadaje się wymiary: wysokość — 16 cm, średnica — 1,5 cm i w łaźni olejowej zanurza się tylko dolną część probówki, z badanym materjałem; pozostała zaś część probówki wystaje z łaźni. W celu ułatwienia stwierdzenia początku rozkładu poza probówkami umieszcza się białe tło i dba się o dobre oświetlenie.

Przed użyciem probówki winny być starannie oczyszczone i sprawdzona szczelność ich zamknięcia. Simon Thomas przeprowadził badania nad bawełną strzelniczą i prochami bezdymnemi rozmaitego pochodzenia. Kilka przykładów otrzymanych wyników zestawionych jest na tablicy 8-ej.

Wobec większej wrażliwości prochów nitroglicerynowych na wysoką temperaturę, Simon Thomas zaleca badanie ich w temperaturze 94° — 96° C.

Dobre prochy nitroglicerynowe winny wytrzymać czterodniowe (32 godz.) ogrzewanie w 95° C., zwykły proch nitrocelulozowy — ogrzewanie trzydniowe (24 godz.) w 100° C., wreszcie bawełna strzelnicza (stabilizowana) nawet po 160 godzinach w 95° C. nie powinna

TABLICA 8-ma.

Nr.	Badany materjał	Skład jego	Pojawienie się tlenków azotu po upływie		
			94⁰ — 96⁰	99⁰ — 100⁰	104⁰ — 106⁰
1.	Bawełna strzeln. z Walsrode	Bawełna strzelnicza	10—10½ dn.	4—4½ dn.	2—2½ dn.
2.	Bawełna strzeln. z Kruppamühle.	„	5 dn.	2—3 dn.	2 dn.
3.	Bawełna strzeln. z Mniden	„	8—8½ dn.	4—4 dn.	2 dn.
4.	Proch płytkowy (Walsrode)	Bawełna strzel. zżelatyn., grafitow.	5 dn.	2—3 dn.	—
5.	Balistyt z Mniden (3m/m)	60% baweł. strzeln. 40% nitrogliceryny	6½—8 dn	3—3½ dn.	1—1 dzień
6.	Proch myśliwski (Walsrode)	Bawełna strzeln. zżelatyn., ziarniona.	7 dn.	3—4 dn.	—

wydzielać brunatnych tlenków azotu. Zaznaczyć należy, że badane były prochy *bez* stabilizatorów.

W porównaniu z próbą niemiecką i próbą Vieille'a, próba Simona Thomasa zbliża się bardziej do warunków normalnych, w jakich zazwyczaj przechowywany jest proch bezdymny, lub bawełna strzelnicza; może ona w wielu wypadkach okazać się bardzo dogodną.

Sy stawia jej zarzut, że w razie bardzo powolnego, stopniowego przebiegu rozkładu, trudno jest ustalić początkową chwilę pojawienia się zabarwionych tlenków azotu.

Metoda Simona Thomasa jest pierwowzorem szeregu metod, opartych na zasadzie „Warmlagerung", posiada zatem wspólną z niemi wadę, że wykonanie jej trwa bardzo długo. Nadaje jej to cechy metody raczej „nadzorczej", niż odbiorczej lub np., nadającej się do kontroli postępu stabilizacji bawełny strzelniczej.

Stosowana była głównie w Holandji. Z biegiem czasu została przekształcona w metodę ilościową, noszącą nazwę metody *holenderskiej*, o której mowa będzie we właściwym czasie.

Przy omawianiu poprzedniej próby wspomnieliśmy, że stałość chemiczna bawełny strzelniczej i prochów bezdymnych może być najpewniej ustalona w warunkach, jak najbardziej zbliżonych do rzeczywistych. Powyższe, zupełnie słuszne założenie, doprowadziło do opracowania metod typu „Warmlagerung", opartych na badaniu stałości materjałów wybuchowych, drogą ich długotrwałego ogrzewania w temperaturze 100° C. i niższych.

Inż. Abel (Philos. Transactions of the Royal Society, 1866 — 1867) poddawał mniejsze (od 15 do 45 gr) i większe (od 5 do 6 kg)

próbki bawełny strzelniczej długotrwałemu ogrzewaniu w temperaturach od 50° do 65° C., aż do zaobserwowania wyraźnego rozkładu. W 90-tych latach ubiegłego stulecia podobnego rodzaju badania zostały podjęte przez Militärversuchsamt w Niemczech i doprowadziły do opracowania dość prymitywnych metod. Z biegiem czasu metody te były coraz bardziej ulepszane i obecnie są stosowane w wielu państwach. Przystępujemy do rozpatrzenia najważniejszych z pośród nich:

9) *Metoda ogrzewania w 100° C.* (Zeitsch. für ges. Schiess und Sprengstoffwesen, 23 (1928) str. 382).

Należy do dość dobrych metod oceny stałości chemicznej prochów, stanowiąc zresztą tylko pewną odmianę próby Simona Thomasa.

10 gr badanego prochu umieszcza się w probówce z dotartym korkiem szklanym i ogrzewa w łaźni parowej w 100° C. W ciągu pierwszych 8-iu godzin ogrzewanie odbywa się w otwartych probówkach, w celu usunięcia pozostałej wilgoci z prochu.

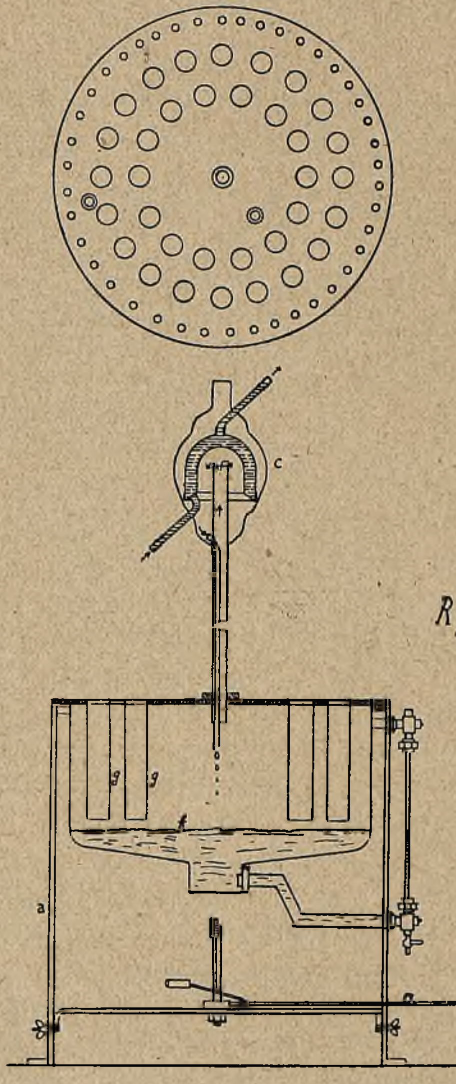
Po zamknięciu probówek z prochem rozpoczyna się właściwą próbę. Po upływie 24-ch godzin otwiera się probówki na przeciąg 10 minut, dzięki czemu dostaje się do nich ilość powietrza (tlenu), wystarczająca do utlenienia utworzonego bezbarwnego tlenku azotu (NO)na brunatno-czerwony dwutlenek azotu (NO_2). Notuje się czas, w którym stwierdzone zostanie *wyraźne* zabarwienie *całej* probówki. Stanowi to niezaprzeczone ulepszenie metody Simona Thomasa, w której stwierdzano tylko powstawanie pierwszych śladów tlenków azotu. Próba w 100° C. daje naogół wyniki dość zgodne z próbą niemiecką (tlenki azotu w 132° C), jednak dokładniej zaznacza różnice stałości poszczególnych badanych prochów (por. tabl. 9-tą na str. 220). Zaletą próby w 100° C. jest to, że umożliwia ona wypowiedzenie się w stosunkowo krótkim czasie o stałości chemicznej badanego materjału; wadą jej jest, że temperatura jej odbiega jeszcze zbyt znacznie od normalnej temperatury, w której są przechowywane prochy.

Wobec tego F. L e n z e i B. P l e u s (Ztschr. für ges. Schiess-und Sprengstoffwesen *14,* (1919), str. 3—17, opracowali metodę, której nadali nazwę:

10) „*Neue Warmlagermethode*“ (próba w 75° C.).

Autorzy obrali dla swej próby temperaturę 75° C. po przeprowadzeniu szeregu badań porównawczych. Okazała się ona przydatną do badania stałości bawełny strzelniczej, której rozkład w danych warunkach zachodzi w ciągu mniej więcej 14-tu dni, t. j. okresu czasu,

który można wyczekać od chwili wykończenia bawełny strzelniczej, aż do jej przeróbki na proch.



Rys. 10

Do wykonania próby stosowany jest termostat, przedstawiony na rys. 10-tym.

W płaszczu żelaznym *(a)* zawieszony jest kociołek miedziany *(k)*, o średnicy 400 mm i wysokości 190 mm. Pokrywa *(p)* o średnicy 450 mm szczelnie zamyka kocioł. Pokrywa posiada szereg otworów, tworzących dwa pierścienie: zewnętrzny o 20-tu i wewnętrzny o 14-tu

otworach, do których wkręcone są probówki miedziane (*g*), o wewnętrznej średnicy około 30 mm. Właściwe probówki do umieszczania badanych próbek są ze szkła jenajskiego o długości 200 mm, licząc do szlifu i średnicy wewnętrznej około 28 mm. Wszystkie probówki mają dotarte korki szklane. Do gniazd łaźni nalewa się trochę gliceryny, w celu osiągnięcia lepszej wymiany ciepła pomiędzy łaźnią a probówkami szklanemi. Aby zapobiec wypieraniu tych ostatnich z gniazd przez glicerynę, obciąża się górne części probówek pierścieniami z ołowiu. Łaźnię ogrzewa się zapomocą specjalnego palnika gazowego; w nowszych modelach stosowane jest ogrzewanie elektryczne, oraz automatyczne regulowanie temperatury.

W celu uzyskania stałej temperatury 75° C ± 1° C. doprowadza się w łaźni do wrzenia czterochlorek węgla, CCl_4, (p. wrzenia 76,8°). W środkowym otworze pokrywy osadzona jest chłodnica zwrotna (*c*). (Na rys. 10-tym podany jest w przekroju ulepszony model B. Pleusa). Poziom cieczy w kotle wskazuje szkło wskaźnikowe (*w*).

Próbę w 75° C. przeprowadza się podobnie jak próbę w 100° C., z tą jedynie różnicą, że, wobec niższej temperatury, ogrzewanie wstępne badanego materjału w otwartej probówce trwa 16 godzin, a w celu umożliwienia dopływu do niej powietrza, otwiera się ją tylko raz tygodniowo na przeciąg 10-ciu minut.

Do próby bierze się 5 gr bawełny strzelniczej lub 10 gr prochu bezdymnego. Odnotowuje się, jak zwykle, czas, gdy całą rurkę zapełnią brunatnawe pary dwutlenku azotu. Czas, jaki upłynął od zamknięcia probówki do pojawienia się w niej tlenków azotu, jest (dla danej temperatury) miernikiem chemicznej stałości badanego materjału. Niemcy nadali mu nazwę „*Lagerbeständigkeit*“, Francuzi, jak to widzieliśmy wyżej — „*résistance*“.

Próba w 75° C. trwa zbyt długo, by mogła być stosowana, jako metoda badania stałości przy odbiorze prochów bezdymnych, oddaje jednak cenne usługi przy sprawdzaniu wyników prób krócej trwających.

Poniżej (w tabl. 9-ej) podane jest (według Lenze'go i Metz'a (l. c.), zestawienie wyników trzech prób (tlenki azotu w 132°, w 100° i w 75° C), dla siedmiu prochów karabinowych typu „*S*“ (Nr Nr. 1 do 7), prochu karabinowego 436 z r. 1899 (Nr. 8) i rosyjskiego prochu działowego wojennego wyrobu (Nr 9).

Ocena wyników według poszczególnych prób podana jest zapo-

mocą skrótów: b. d. — bardzo dobry, d — dobry, j. d. — jeszcze dobry, m. d. mniej dobry, z — zły, b. z. bardzo zły).

TABLICA 9.

Nr. prochu	132°C		100° C		75° C	
1	$4^1/_2$; $4^1/_2$ g.	d.	9; 9 dni	d.	49; 49 dni	m. d.
2	$5^1/_2$; $5^1/_2$ g.	d.	9; 10 dni	d.	68; 74 dni	d.
3	$5^1/_2$; $5^1/_2$ g.	d.	11; 11 dni	d	151 dni	b. d.
4	7; 7 g.	b. d.	10; $10^1/_2$ dni	d.	136; 136 dni	b. d.
5	4; 4 g.	j. d.	4; 5 dni	m. d.	88; 91 dni	d.
6	$5^1/_2$; $5^3/_4$ g.	d.	11; 11 dni	d.	135; 138 dni	b. d.
7	$4^1/_4$; $4^1/_2$ g.	d.	$3^1/_2$; 3 dni	m. d.	63; 63 dni	j. d.
8	$2^5/_6$; $2^5/_6$ g.	z.	1; 1 dz.	z.	12; 13 dni	z.
9	9 min; 9 min.	b. z.	25 min; 25 min.	b. z.	21 godz.	b. z.

(W rubrykach podany jest czas, jaki upłynął od początku próby do pojawienia się wyraźnie widocznych tlenków azotu, dla 2-ch próbek każdego z badanych gatunków prochu).

Z tablicy widzimy, że ocena stałości jest tembardziej *zróżniczkowana*, im niższa jest temperatura próby.

Wyniki próby w 75° C. były szczegółowo badane przez Lenze'go i Pleus'a w ciągu kilku lat.

Doprowadziło ich to do następujących wniosków:

1) badania, przeprowadzone w jednej pracowni w rozmaitych porach roku, dały dla jednej i tej samej partji badanego materjału (z 5-ciu równoległych próbek) wyniki zupełnie zgodne.

2) Badania, przeprowadzone z jedną i tą samą partją materj. wybuchowego w 3-ch różnych pracowniach, Militärversuchsamt, prochownia w Szpandawie i prochownia w Hasloch, dały również zgodne liczby, zwłaszcza dla 2-ch pierwszych pracowni.

Przeprowadzone zostały również badania porównawcze z metodami ilościowemi, o których mowa będzie dalej; wykazały one, że w metodach ilościowych oznaczenie tlenków azotu możliwe jest dopiero wtedy, gdy w próbie 75° C., są one wyraźnie widoczne, czyli gdy następuje rzeczywisty rozkład badanego materjału wybuchowego. Innemi słowy, pojawienie się w czasie próby tlenków azotu jest niezawodną oznaką *początku* rozkładu.

11) *Próba ogrzewania w 65,5° C.* (150° F.) — *I. G. Patterson'a* „surveillance test" (VII-my kongres międzynarodowy chemji stoso-

wanej (1909); Ztschr. für ges. Schiess- und Sprengstoffwesen, 5, str. 47 (1910).

Próba ta jest bardzo rozpowszechniona w Stanach Zjednoczonych. Do stożków szklanych z dotartemi korkami, o pojemności około 200 cm³, wsypuje się po 10 do 15 gr badanego prochu i umieszcza się je w magazyniku, w którym utrzymywana jest stała temperatura 65,5° C. Stożki pozostają tam aż do pojawienia się w nich tlenków azotu. Do wyrobu stożków brane jest specjalne szkło (krzemiany glinu i wapnia z możliwie małą ilością krzemianów potasu), odporne na działanie tlenków azotu; zwykle szkło z biegiem czasu pokrywa się nalotem, utrudniającym obserwację. Kolor powstających tlenków jest początkowo słomkowo-żółty, przechodzi jednak przed upływem 24 godzin od tej chwili w brunatny. Próbę przeprowadza się jednocześnie dla dużej ilości partyj prochu bezdymnego. Słoiki ustawiane są na specjalnych półkach, które mogą mieć ruch obrotowy dookoła osi pionowej. Półkę taką ustawia się w małym magazyniku (3,2 m²), o ścianach trójwarstwowych i podwójnych drzwiach. W danym razie chodzi o zabezpieczenie składziku od wpływów zmiennych warunków atmosferycznych. Ogrzewa się pomieszczenia zapomocą pary wodnej. Zwój rur parowych, nakryty kołpakiem blaszanym, umieszczony jest na podłodze. Niekiedy stosowane jest dodatkowe ogrzewanie elektryczne wraz z automatyczną regulacją temperatury. Prochy działowe, największych kalibrów, wytrzymują ogrzewanie w 65,5° C. w ciągu 300 do 400 dni.

W miarę starzenia się prochów pogarsza się ich stałość, wreszcie dochodzą one do takiego stanu, że dla mniejszych kalibrów tlenki azotu otrzymywane są po upływie 1-go dnia, dla największych — po upływie 5 — 6 dni.

Próba w 65,5° C. nadaje się bardzo do kontroli większych partyj prochu w magazynach, oraz do kontroli fabrycznej wytwarzanych partyj prochu. Do braków tej próby zaliczyć należy nieuregulowanie sprawy dopływu powietrza do słoików. W razie obecności w prochu czynników odtleniających uzyskane być mogą wyniki niepewne.

Przy badaniu stałości prochów bezdymnych zapomocą prób cieplnych typu „Warmlagerung" uzyskano ciekawe wyniki. W tablicy 10-ej (wziętej z książki Brunswiga, Das rauchlose Pulver, str. 406), widzimy, np., jaki wpływ wywiera obecność w prochach stabilizatorów na „wytrzymałość" (résistance) ich w danej temperaturze.

TABLICA 10.

Gatunek prochu	„Wytrzymałość" prochu wyrażona w dniach			
	100° C	85° C	75° C	60° C
Proch nitroglicerynowy				
bez stabilizatora	1/4	1 — 2	7 — 12	40 — 60
z 1/4% dwufenylaminy	2	7 — 9	35 — 50	—
z 1% centralitu	3 — 4	17 — 23	80 — 120	—
z 1% akardytu	4 — 6	25 — 34	150 — 190	—
z 7% centralitu	20 — 25	100 — 150	—	—
Proch nitrocelulozowy				
bez stabilizatora	1	6 — 10	25 — 30	—
z 1/4% dwufenylaminy	3 — 4	15 — 25	60 — 90	—
z 1% centralitu	10 — 12	60 — 75	> 300	—

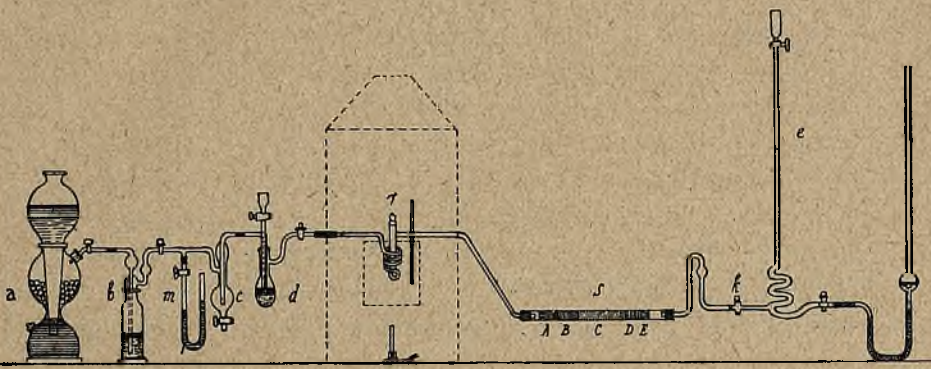
W opisanych dotychczas próbach stałości prochów bezdymnych i bawełny strzelniczej miernikiem tej stałości był czas, jaki upływa od chwili rozpoczęcia próby aż do chwili wystąpienia oznak mniej lub więcej posuniętego rozkładu badanego materjału. Próby te zupełnie nie uwzględniały szybkości przebiegu rozkładu ani też ilości produktów, jakie przy nim powstają. Z tego ostatniego punktu widzenia omawiane próby posiadają charakter prób *jakościowych*, a z tytułu prób o typie kolorymetrycznym podlegają w większym lub mniejszym stopniu błędom subjektywnym.

Na przełomie XIX-go i XX-go stuleci, w dziedzinie prochów bezdymnych, sprawa ich stałości chemicznej wysunęła się na pierwszy plan. Uznano wówczas doniosłość metod, opartych na przeprowadzeniu oznaczeń liczbowych, któreby, w sposób jaknajbardziej pewny, umożliwiały sąd o stałości chemicznej badanego materjału wybuchowego. Przystępujemy obecnie do rozpatrzenia szeregu prób stałości o charakterze *ilościowym*. Cechą wspólną tych prób jest to, że są one przeprowadzane w *stałej*, dla każdej próby swoistej temperaturze.

12) *Próba Will'a*. (Zeitschr. f. angew. Chemie *14*. 746 (1901).

Metoda Will'a stanowi punkt zwrotny w zagadnieniu badania stałości bawełny strzelniczej, jako *pierwsza* historycznie metoda ilościowa. Jest ona w pewnym stopniu odmianą próby *Hess'a*, drogą wprowadzenia pomiarów ilościowych i zastosowania wyższej temperatury. W metodzie Will'a mierzona jest ilość azotu wolnego i związanego, jaka zostaje wydzielona w ciągu 4-ch godzin z 2,5 gr suchej bawełny strzelniczej, ogrzanej do 135° C. Przez cały czas trwania próby produkty rozkładu są usuwane zapomocą strumienia suchego, czystego bezwodnika kwasu węglowego.

Przyrząd Will'a składa się (por. rys. 11) z przyrządu Kippa *(a)*, w którym wywiązywany jest bezwodnik kwasu węglowego z marmuru lub magnezytu. Przed użyciem, kawałeczki tych materjałów są starannie wygotowywane w wodzie; kwas solny (20%) do przyrządu Kippa uzyskiwany jest ze stężonego, drogą rozcieńczenia wodą świeżo przegotowaną (wolną od powietrza). Otrzymywany bezwodnik kwasu węglowego CO_2, z przyrządu Kippa kierowany jest do płuczki z wodą *(b)*, następnie do butelki zabezpieczającej *(c)* i wreszcie przechodzi przez płuczkę-licznik *(d)*, zawierającą stężony kwas siarkowy. Do każdego oznaczenia brany jest świeży kwas siarkowy.

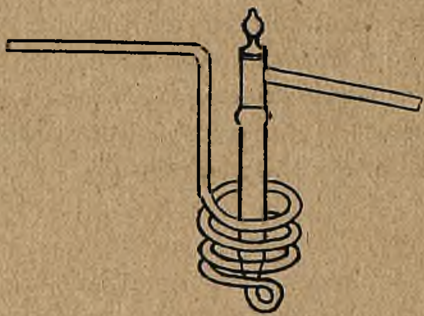


Rys. 11.

Między płuczką *b*, a butelką *c* umieszczony jest manometr rtęciowy *m*, dzięki któremu dają się wykryć nieszczelności aparatury oraz mierzone jest ciśnienie, potrzebne do przetłaczania CO_2 przez aparaturę (z określoną szybkością). Dalszą częścią aparatury jest naczyńko (*r*), w którem zachodzi rozkład badanej próbki. Składa się ono (por. rys. 12) z 2 części: probówki o średnicy 15 mm i wysokości 10 cm oraz połączonej z nią i otaczającej ją wężownicy szklanej, z najlepszego szkła termometrowego. Wężownica spełnia rolę podgrzewacza dla CO_2.

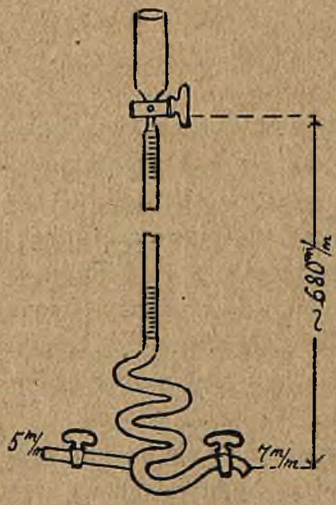
Do probówki naczyńka r umieszcza się badaną próbkę,—2,5 gr bawełny strzelniczej wysuszonej w ciągu ½ godziny w 100°C lub odpowiednio większą ilość wilgotnej. Pod i nad bawełną strzelniczą umieszcza się w probówce koreczki z waty szklanej. Cały przyrząd zostaje zestawiony, jak na rys. 11-ym. Ze względów bezpieczeństwa umieszcza się naczynko *r* wraz z łaźnią olejową w szafce ochronnej z że-

łaza i grubego szkła. Wewnątrz szafki znajdować się może również i rurka *s*, której w takim razie w celu zaoszczędzenia miejsca, nadaje się kształt litery *U*. Powstające na skutek rozkładu bawełny strzelniczej, azot, tlenki azotu wraz z dwutlenkiem węgla przechodzą przez



Rys. 12.

rurkę odtleniającą *s*. W tej ostatniej znajduje się kilka warstw: *A* — odtleniony zwój siatki miedzianej, długości 4 cm, *B* — warstwa azbestu z tlenkiem miedzi, długości 7 cm, *C* — warstwa miedziowanego



Rys. 13.

bestu, długości 12 cm, *D* — warstwa azbestu z tlenkiem miedzi (5 cm) i wreszcie *E* — zwój odtlenionej siatki miedzianej (3 cm). Tlenki azotu, przechodząc przez ogrzaną rurkę *s*, ulegają odtlenieniu na ozot (N_2). Mieszanina CO_2 i N_2 przechodzi dalej do specjalnej biurety gazowej

(e) o zygzakowatej dolnej części. Biureta zawiera ług sodowy, lub potasowy. Szczegóły jej budowy uwidocznione są na rys. 13-ym. Ług pochłania CO_2, wobec czego w biurecie pozostaje tylko azot.

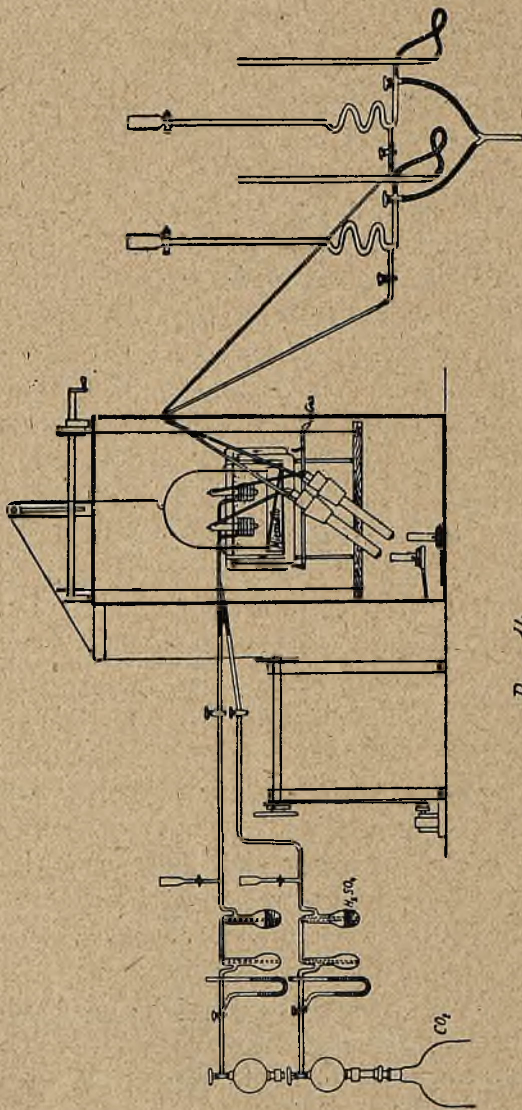
Samą próbę przeprowadza się w sposób następujący. Po zestawieniu aparatury wypiera się z niej powietrze drogą przepuszczania przez nią szybkiego strumienia CO_2 w ciągu pół godziny. Naczyńko *r* z badaną próbką jeszcze nie znajduje się wtedy w łaźni olejowej. Zupełne pozbycie się powietrza nie jest możliwe, ponieważ mimo zachowania ostrożności, wskazanych wyżej, wytwarzany CO_2 zawiera domieszkę powietrza. W tymże czasie zaczyna się stopniowe ogrzewanie rurki *s;* po upływie 30 minut nie przerywa się przepływu CO^2, natomiast reguluje się starannie szybkość przepływu tak, by wyniosła ona 1000 cm^3 na godzinę (Will zalecał 1500 cm^3 na godzinę, jednak doświadczenia późniejszych obserwatorów wykazały, że przy mniejszej szybkości przepływu, wyraźniej występują nieznaczne różnice w stałościach rozmaitych nitroceluloz). Co 15 minut odczytuje się objętość gazu w biurecie (nitrometrze), aż do uzyskania *stałej* poprawki na *azot* domieszanego powietrza, która nie powinna być większa niż 0,05 cm^3 (na 15 minut). Umieszcza się wtedy naczyńko z badaną bawełną strzelniczą do łaźni olejowej, ogrzanej do 135° C, zaopatrzonej w mieszadło mechaniczne i termoregulator. Ilość azotu w nitrometrze odczytuje się i notuje co 15 minut w ciągu $4^1/_2$ godzin. Ług w biurecie jest zmieniany częściowo mniej więcej co pół godziny.

Po dokonaniu ostatniego odczytu przerywa się zapomocą kurka dwudrożnego *k* dopływ gazu do biurety. Odczyt, zrobiony po upływie pierwszych 15 minut nie jest brany pod uwagę. Z pozostałych odczytów sporządza się wykres (na osi odciętych odkładamy czas wyrażony w godzinach, na osi rzędnych — wydzielony azot w miligramach). Im mniej wydziela się azotu i im jednostajniej (otrzymuje się wtedy linję prostą), tym stalsza jest badana bawełna strzelnicza. Dla dobrze stabilizowanej bawełny strzelniczej ilość azotu, wydzielonego w ciągu czterogodzinnego ogrzewania wynosi od 4 do 6,5 mg.

Próba Will'a nie nadaje się do badania prochów bezdymnych, zawierających stabilizatory, lub prochów nitroglicerynowych.

Próba ta należy do bardziej skomplikowanych, wymaga drogiej aparatury i nie jest zbyt łatwa. Wobec pewnych jej zalet starano się ją uprościć. Zaproponowano, np., stosowanie suchego powietrza, nie zawierającego CO_2, zamiast bezwodnika kwasu węglowego *(Baschieri,* Ztschr. für ges. Schiess- und Sprengstoffwesen 7, str. 41, (1912)). Od-

pada wtedy rurka odtleniająca, produkty rozkładu wprowadza się do 0,01 n. wodorotlenku sodu (NaOH). Miarą stałości jest ilość cm^3 ługu, zobojętniona przez kwaśne produkty rozkładu bawełny strzelniczej.



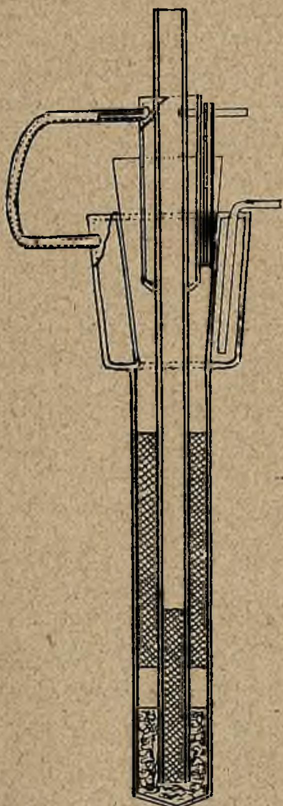
Rys. 14.

Robertson (Journ. Soc. Chem. Ind. *21*, 819 (1902)) opracował modyfikację przyrządu Will'a, dzięki której możliwe jest spółczesne przeprowadzenie 2-ch prób.

Przyrząd Robertsona przedstawiony jest schematycznie na rys. 14-tym.

Z liczby wprowadzonych zmian, główne są następujące.

Zamiast przyrządu Kippa, wprowadzone zostały butle ze sprężonym CO_2. Gaz ten może być otrzymywany technicznie o zawartości zaledwie 0,01% powietrza. Są to ilości tak małe (przy 1000 cm^3. CO_2 na godzinę — 0,1 cm^3 powietrza), że nie wpływają decydująco na wyniki próby. Zapomocą zresztą ślepej próby łatwo jest uzyskać poprawkę na azot, jaką należy wprowadzić do danych nitrometru.



Rys. 15.

Dopływ CO_2 regulowany jest zapomocą zaworu redukcyjnego.

Specjalny kształt nadał Robertson rurce, w której zachodzi odtlenianie tlenków azotu. Dwie rury miedziane są osadzone spółśrodkowo, przyczem zewnętrzna jest zamknięta z dołu (por. rys. 15). W wewnętrznej umieszczony jest zwój odtlenionej siatki miedzianej; tego samego rodzaju zwojem wypełniona jest luźno przestrzeń pierś-

cieniowa między rurkami. Dolna część wewnętrznej rurki otoczona jest warstwą azbestu, pokrytego tlenkiem miedzi, a nad tą warstwą naokoło (w przestrzeni pierścieniowej) znajduje się warstewka azbestu miedziowanego. Wewnętrzna rurka miedziana osadzona jest w zewnętrznej zapomocą korka gumowego, wstawionego do rozszerzonej górnej części rurki zewnętrznej. W miejscu zetknięcia z korkiem, ścianki obu rurek chłodzone są wodą. Przez korek gumowy przechodzi również rurka szklana, odprowadzająca CO_2 i azot do biurety — nitrometru.

Próba Will'a posiada głównie tę wadę, że podczas ogrzewania badanej próbki bawełny strzelniczej usuwane są *stale* produkty jej rozkładu; tą drogą stwarzane są warunki odmienne od napotykanych w praktyce, przy przechowywaniu bawełny strzelniczej i prochów bezdymnych w opakowaniu hermetycznem, gdzie, jak to już wspominaliśmy wyżej (Wiad. Techn.-Artyl. Nr. 1, str. 95), pozostające w zetknięciu z materjałami wybuchowemi produkty rozkładu przyśpieszają przebieg tego rozkładu.

13) *Próba stałości Bergmanna i Junka.*

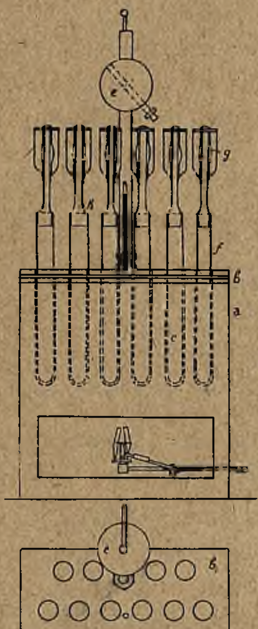
Z liczby metod ilościowo oznaczających produkty rozkładu bawełny strzelniczej i prochów bezdymnych, bezsprzecznie najbardziej rozpowszechniona jest metoda *Bergmanna i Junka,* opracowana w latach 1902—1904 (Ztschr. f. angew. Chemie, T. 17 (1904 str. 982 i 1028 — 1074). W próbie tej, znanej również pod nazwą „próby szpandawskiej"; oznacza się ilość tlenków azotu, odszczepionych w ciągu 2-ch godzin z danej ilości bawełny strzelniczej, ogrzanej do 132°C. Jest to zatem metoda, która powstała z t. zw. niemieckiej próby. Przyjmuje się przytem, że z jednego grama dobrej bawełny strzelniczej nie powinno się odszczepiać więcej niż 2,5 cm³ tlenku azotu, NO, w ciągu godziny. Celem tej metody była głównie kontrola postępu stabilizacji bawełny strzelniczej, w czasie jej wytwarzania.

Omawiana metoda, opracowana przez jej autorów do badania bawełny strzelniczej, została w r. 1910 dostosowana przez Pleus'a do badania stałości prochów bezdymnych.

Aparatura. Zasadniczą częścią jej jest łaźnia *a,* podobna do stosowanej w próbie niemieckiej. Jest ona miedziana, czworokątna; (por. rys. 16-ty); zamyka ją hermetycznie pokrywa *b.* W tej ostatniej osadzonych jest: 10 rurek, ciągnionych z grubego mosiądzu o długości około 20 cm i wewnętrznej średnicy 20 mm, zamkniętych z dołu, jedna rurka cieńsza do umieszczenia termometru *T* i wreszcie miedziana

chłodnica zwrotna *e*. Palnik gazowy Kocha ogrzewa łaźnię; stałą temperaturę 132° C osiąga się, doprowadzając w łaźni do wrzenia alkohol izoamylowy lub odpowiednio dobraną mieszaninę toluolu i ksylolu.

Probówki, w których umieszcza się badane próbki, są z grubego szkła, o długości około 35 cm (por. rys. 17-ty) i średnicy zewnętrznej prawie 20 mm, zaś wewnętrznej 16—17 mm. Na ściance probówki znajduje się kreska, która wskazuje na objętość 50 cm³. Szyjki rurek są zazwyczaj trochę zwężone; do nich dotarte są rurki aparatów chłonnych





Rys. 16



Rys. 17

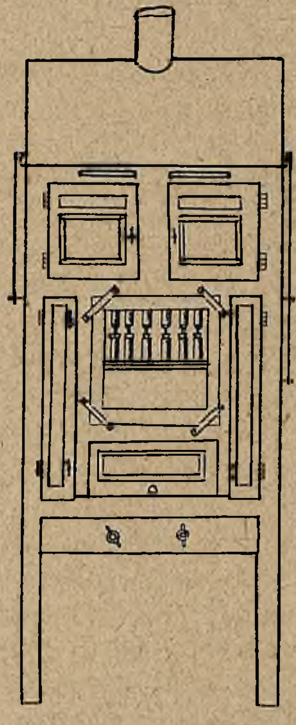
nych, t. zw. „nasadek". Na rys. 17-tym widzimy nasadkę w kształcie zlewki; tego rodzaju nasadki są zwykle stosowane przy badaniu stałości prochów bezdymnych. Przez dno zlewki przechodzi cienka rurka, dolna część jej jest szersza i tworzy korek, dotarty do probówki. Na rurkę środkową nakłada się probówkę szklaną *i*, o rozdętej części środkowej. Do badania stałości bawełny strzelniczej częściej są stosowane „nasadki", w kształcie zgiętych rurek z kulkami (por. rys. 18-ty).

Probówki szklane z nasadkami umieszczane są w mosiężnych gniazdach pokrywy łaźni; wystają one z łaźni na przeszło 15 cm. W celu ułatwienia ogrzewania probówek szklanych, wlewa się do gniazd 1—2 cm³ oleju mineralnego, o wysokim punkcie zapłonienia.

W razie niestałych materjałów możliwe są, przy wykonywaniu próby, wybuchy. Wobec tego przyrząd Bergmanna i Junka umieszczany jest zwykle w odpowiednio zbudowanej szafce. Model Chemisch-Technische Reichsanstalt (Militärversuchsamt) (por. rys. 19-ty) posiada boki drewniane. W przedniej i tylnej ściankach znajdują się drzwiczki o podwójnych szklanych szybach. W daszku szafki umieszczony jest kominek. W celu umożliwienia bezpiecznego wyjmowania



Rys. 18.



Rys. 19.

probówek Bergmanna i Junka, są one ujęte w specjalne strzemiączka, do których doczepione są sznurki przerzucone przez bloczki nazewnątrz. W modelu szafki fabryki prochu w Szpandawie boki drewniane szafek zastąpione są przez mocne siatki metalowe, zbyteczny staje się wobec tego kominek, odprowadzający gazy spalinowe.

Wykonanie próby.

a) Bawełnę strzelniczą przed badaniem należy starannie wysuszyć. W tym celu suszy się około 15 gr. bawełny strzelniczej, o zawartości 25 do 30% wody, w suszarce Soxhleta w ciągu 3-ch do 4-ch godzin w 40⁰—50⁰ C. Prawie suchą bawełnę strzelniczą przeciera się przez sito o oczkach dwumilimetrowych i dosusza się następnie nad

kwasem siarkowym w eksykatorze próżniowym. W wysuszonej bawełnie strzelniczej zawartość wilgoci nie powinna być większa niż 1%; 2 gr. suchej bawełny strzelniczej odważa się dokładnie i wprowadza do rurki Bergmanna i Junka zapomocą lejka metałowego lub z papieru glansowanego. Cząsteczki bawełny strzelniczej, które przywarły do ścianek rurki usuwa się, wstrząsając rurkę lub też zapomocą piórka. W razie potrzeby ubija się bawełnę strzelniczą w rurce zapomocą pałeczki bukszpanowej o płaskim końcu tak, by utworzyła ona w probówce słupek wysokości około 5 cm. Do nasadki wlewa się około 20 cm³ wody dystylowanej, a dotarty do probówki korek pokrywa się cienką warstewką obojętnego smaru, t. j. nie reagującego z tlenkami azotu, poczem wstawia się szczelnie nasadkę do probówki. Zmontowane w ten sposób rurki Bergmanna i Junka wstawia się do gniazd łaźni, ogrzanej zawczasu do 132° C, w których pozostają na przeciąg 2-ch godzin. W pierwszym okresie ogrzewania z rurki uchodzi ogrzane powietrze (przez wodę w nasadce), a następnie odparowuje z bawełny strzelniczej pozostała w niej ilość wilgoci. W rurkach powstaje zlekka odjemne ciśnienie. Tylko w razie bardzo złej bawełny strzelniczej (obfite i gwałtowne wydzielenie tlenków azotu) może powstać wewnątrz rurki nadciśnienie. W normalnych warunkach wydzielające się tlenki rozpuszczają się w wodzie nasadki. Po upływie 2-ch godzin wyjmuje się rurki z łaźni. Wskutek oziębienia w rurce powstaje częściowa próżnia, wskutek czego część wody z nasadki zostaje przeciągnięta do probówki. W razie nasadki kulkowej dolewa się do niej po ukończonem ogrzewaniu nieco wody, by umożliwić przedostanie się jej do probówki. Probówkę wstrząsa się w celu przyśpieszenia rozpuszczania się zawartych w niej tlenków azotu w wodzie. Następnie zdejmuje się nasadę, wymywa się ją wodą dystylowaną, którą dolewa się do rurki Bergmanna. Wreszcie do tej ostatniej wlewa się wody aż do podziałki 50 cm. Wtedy zamyka się probówkę korkiem i skłóca starannie jej zawartość. Uzyskany roztwór sączy się przez suchą bibułę, a w 25 cm³ przesączu (odpowiada to produktom rozkładu z 1 gr bawełny strzelniczej) oznacza się azot. Przed oznaczeniem azotu utlenia się przesącz nadmanganianem potasu (1—2 cm³ $n/_1$—$KMnO_4$).

b) W razie badania stałości prochu bezdymnego, postępowanie jest następujące.

Odważa się 5 gr prochu bezdymnego, w razie potrzeby rozdrobnionego na ziarenka wielkości od 0,5 do 1 mm i suszy się 48 godzin nad kwasem siarkowym w próżni. Wysuszony proch wsypuje się do

rurki Bergmanna i ogrzewa się w łaźni w 132° C w ciągu 5-ciu godzin. (Niektóre pracownie stosują ogrzewanie trzygodzinne. W rosyjskich pracowniach (przed wojną) brano 2 gr prochu i ogrzewano 6 godzin). Dalej postępuje się jak dla bawełny strzelniczej. Proch uważa się za dobry, jeśli w ciągu 3-ch godzin odszczepionych zostało nie więcej niż 8 cm³ NO, lub w ciągu 5-ciu godzin — nie więcej niż 12 cm³. NO. Zwykle otrzymuje się liczby znacznie mniejsze.

Oznaczanie azotu w przesączu. W użyciu jest najczęściej metoda Schlösinga-Grandeau, zmodyfikowana przez Tiemanna i Schulze'go. W niektórych państwach (Rosja) stosowano metodę Ulscha-Beckmanna, w której azot oznacza się pod postacią amonjaku.

Metoda Tiemanna i Schulze'go oparta jest na reakcji:

$$NaNO_3 + 3\ FeCl_2 + 4\ HCl = NaCl + FeCl_3 + 2\ H_2O + NO.$$

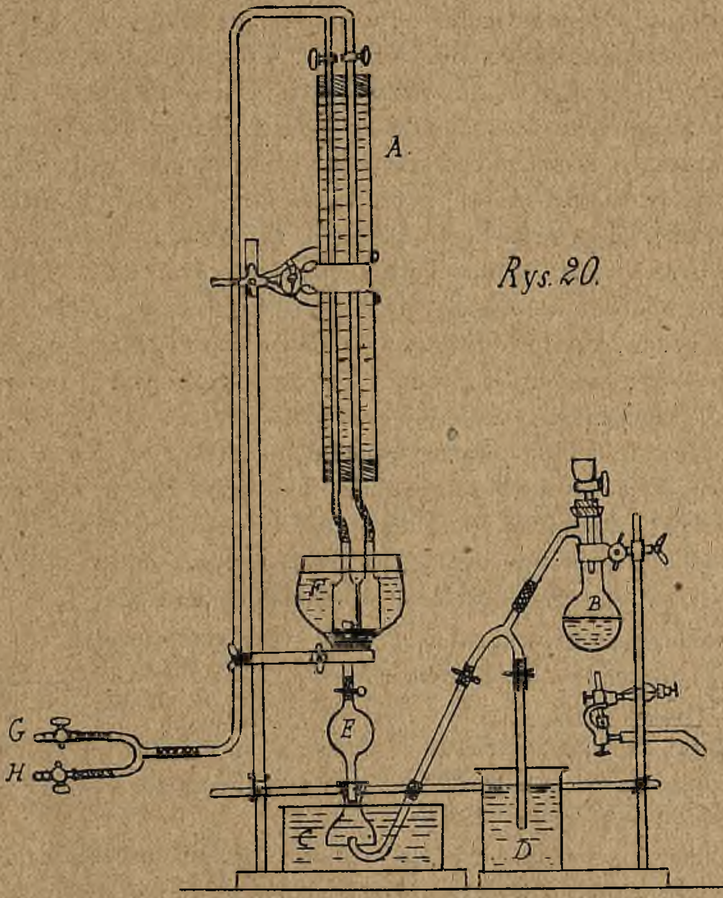
Tlenek azotu otrzymany drogą odtlenienia oznaczany jest objętościowo, wyniki podaje się w cm³ *NO* (na 1 gr bawełny strzelniczej i całą ilość odważonego prochu).

Wobec tego, że tlenek azotu łączy się łatwo z tlenem powietrza, tworząc rozpuszczalny w wodzie dwutlenek azotu, metoda wymaga starannego usunięcia powietrza z przyrządu.

Zwykły sposób wykonania metody Tiemanna-Schulze'go opisany jest dokładnie w podręczniku Lunge-Berl, Chemisch-techn. Untersuchungsmethoden, 7 wyd. T. I, str. 783). Poniżej podana jest odmiana tej metody, stosowana w Ameryce. (J. Americ. Chem. Society, 1910 Vol. 32, str. 1237). Może być stosowana do cieczy, zawierających około 0,001 gr azotu (2 cm³ *NO*). Głównemi częściami składowemi aparatury są kolba (*B*) i biurety (*A*) (rys. 20-ty).

Kolba *B* o pojemności 150 cm³ z jenajskiego szkła lub Pyrex'u winna być mocna, by móc oprzeć się działaniu całkowitej próżni wewnętrznej. W górnej części szyjki kolba posiada rurkę boczną. Kolbę zamyka szczelnie dopasowany korek gumowy, przez który przechodzi niewielki wkraplacz. Boczna rurka kolby połączona jest z rurką szklaną kształtu litery *Y*. Jedno ramię tej rurki połączone jest z rurką, zanurzoną w zlewce *D* z wodą, przez tę rurkę usuwa się powietrze z przyrządu. Drugie ramię połączone jest z rurką odprowadzającą gaz. Oba ramiona rurki Y zamknięte są zapomocą ściskaczy. Zagięty koniec rurki odprowadzającej gaz z kolby *B*, podprowadzony jest pod dzwon *C*. znajdujący się w naczyniu z ługiem sodowym. Gaz, odmyty

od CO_2 i kwasu solnego, z dzwonu przechodzi do kulistego naczynia *E*. Nad tym zbiorniczkiem dla gazu znajduje się naczynie *F* z ługiem sodowym. Zebrany w zbiorniczku *E* gaz może być skierowany do jednej z dwóch biuret *A*, napełnionych ługiem sodowym, umieszczonych w płaszczu wodnym.



Rys. 20.

Wszystkie roztwory, potrzebne do przeprowadzenia oznaczenia, muszą być przyrządzane na wodzie dystylowanej, świeżo przegotowanej, pozbawionej powietrza.

Przed rozpoczęciem właściwego oznaczenia, przeprowadza się doświadczenie z wzorcowym roztworem saletry potasowej. (Dokładnie 1 gr najczystszej, sproszkowanej i wysuszonej w 150° C saletry potasowej, KNO_3, rozpuszcza się w 250 cm³ wody dystylowanej).

Przez wkraplacz wprowadza się do kolby *B* ściśle 10 cm³ powyższego roztworu (0,040 gr KNO_3); należy przestrzegać, by w kolbie i w rurkach łączących nie było śladów kwasu od poprzednich oznaczeń. Zawartość kolby ogrzewa się do wrzenia na ogniu bezpośrednim i wygotowuje się powietrze; to ostatnie i para uchodzą przez rurkę do zlewki *D*. W pewnej chwili odstawia się palnik; manipulując odpowiednio ściskaczami można do rurki odprowadzającej wciągnąć roztwór ługu aż do miejsca rozgałęzienia rurki *Y*. Wprowadza się wtedy przez wkraplacz do kolby 15 cm³ roztworu chlorku żelazawego (mniej więcej 20%-go) oraz 15 cm³ 20%-go kwasu solnego, wreszcie wymywa się wkraplacz kilkoma centymetrami sześciennemi wody dystylowanej. Następnie ponawia się ogrzewanie, stosując mały płomień. Gdy wydzielanie się tlenku azotu osłabnie, zwiększa się płomień. Ogrzewanie przerywa się, gdy w kolbie pozostane około 30 cm³ cieczy, poczem wytwarza się w kolbie częściową próżnię, by usunąć z cieczy resztki rozpuszczonych gazów. Gaz, który zbiera się w zbiorniczku *E*, zostaje wprowadzony do jednej z biuret gazowych (o pojemności 25 cm³), poczem oznacza się jego objętość.

Objętość tlenku azotu, wywiązanego z 0,040 gr KNO_3, wynosi teoretycznie 8,81 cm³ (w 0° C i przy 760 mm słupa rtęci). Stosunek objętości teoretycznej (8,81) do odczytanej (v), — $k = 8{,}81/v$, jest spółczynnikiem do zamiany odczytywanych (w tychże co i poprzednio warunkach) objętości na objętości w warunkach normalnych.

Następnie wprowadza się do kolby *B* badaną próbkę, t. j. 25 cm³ wyciągu wodnego z rurki Bergmanna, unikając wprowadzenia powietrza do kolby.

Ilości chlorku żelazawego i kwasu solnego, które były wzięte do oznaczenia spółczynnika *K*, są wystarczające do przeprowadzenia około 5-ciu oznaczeń.

Stosując opisany przyrząd o 2-ch biuretach oszczędza się dużo czasu, gdy chodzi o wykonanie serji oznaczeń, unika się bowiem wygotowywania za każdym razem powietrza z przyrządu. Gaz, wydzielony z badanej próbki przesączu zostaje skierowany do drugiej biurety i po upływie 3 — 5 minut odczytuje się objętość jego w warunkach identycznych z temi, w jakich mierzona była objętość gazu, otrzymanego z roztworu saletry potasowej. Odczytana objętość, przemnożona przez spółczynnik *K*, daje nam poszukiwaną objętość tlenku azotu w *0°* i przy *760* mm ciśnienia.

Metoda Bergmanna i Junka posiada sporo zalet. Czas wykonania

właściwej próby jest krótki; probówki, w których odbywa się rozkład posiadają racjonalne zamknięcie, dzięki czemu produkty rozkładu (rozpuszczalne w wodzie) nie uchodzą w powietrze, a powstające w rurkach nadciśnienie jest nieznaczne. Wobec tego badane materjały wybuchowe przez cały czas trwania próby pozostają w zetknięciu z produktami rozkładu, jak to ma miejsce w warunkach normalnego ich przechowywania.

Z drugiej jednak strony próba Bergmanna i Junka posiada szereg wad. Wymienić tu należy wspólną dla wszystkich prób o krótkim czasie trwania wysoką temperaturę oraz niezbyt dokładną metodę oznaczania stosunkowo nieznacznych ilości tlenków azotu.

Najpoważniejszy jednak zarzut, jaki jest zupełnie słusznie stawiany tej próbie, polega na kwestjonowaniu dowolnie obranego czasu jej trwania.

Dla bawełny strzelniczej przerywa się ogrzewanie po upływie 2-ch godzin, dla prochów bezdymnych — po upływie 3-ch lub 5-iu godzin.

Tymczasem dla rozkładu bawełny strzelniczej i prochów bezdymnych rozróżniamy dwa różniące się od siebie zasadniczo okresy: pierwszy, w którym rozkład jest nieznaczny i jednostajny, — okres stałości chemicznej, — i drugi, w którym produkty rozkładu nagromadziły się już w ilości dostatecznej, by móc działać przyśpieszająco na przebieg rozkładu, — okres autokatalizy. (por. Wiadom. Techn. Artyler. Nr. 1, str. 91).

W zależności od stopnia stałości badanego materjału chwila przerwania ogrzewania (a zatem i oznaczenia ilości produktów rozkładu) może przypaść na pierwszy lub drugi okres rozkładu. Z otrzymanych wyników możemy wtedy sądzić o tem, czy badany materjał w czasie próby znajdował się jeszcze w okresie stałości chemicznej, czy też autokatalitycznego rozkładu.

Może atoli zajść wypadek, że w chwili przerwania próby stan badanego materjału znajdzie się na granicy tych 2-ch okresów; może to nas z łatwością doprowadzić do zupełnie błędnych wniosków o stanie stałości tego materjału; przy badaniu bowiem równoległem kilku próbek jednego i tego samego materjału wybuchowego, otrzymuje się wówczas wyniki, znacznie różniące się od siebie, zależnie od tego, czy proces autokatalitycznego rozkładu rozpoczął się o kilka minut wcześniej, czy też później.

Z powyższego widzimy, że próba Bergmanna i Junka daje wyniki

zupełnie pewne, tylko dla dobrych lub zdecydowanie złych materjałów wybuchowych. Nadaje się ona wobec tego w pierwszej linji, jako próba przy odbiorach materjałów wybuchowych nowej produkcji, gdy materjałom tym stawiane jest jako warunek tylko, by okres ich stałości chemicznej w 132° C był większy od pewnego, zgóry określonego minimum. W tym ostatnim charakterze, — próby odbiorczej, — metoda Bergmanna i Junka oddaje duże usługi.

W rozważanej metodzie źródłem błędów przy oznaczeniach może być również niezupełne wyługowanie produktów rozkładu z badanego materjału.

Dotyczy to, przedewszystkiem, prochów bezdymnych, których zdolność pochłaniania tlenku azotu zależy w dużym stopniu od ich stanu fizycznego (porowatości, stopnia zżelatynowania, charakteru powierzchni i t. p.), dzięki czemu tlenki azotu są wyługowywane z różnego rodzaju prochów, (w jednakowych pozostałych warunkach) mniej lub więcej całkowicie.

O ile wykonanie samej próby Bergmanna i Junka zajmuje stosunkowo mało czasu, o tyle ilościowe oznaczanie tlenków azotu jest czynnością dość skomplikowaną.

Spowodowało to usiłowania ulepszenia omawianej metody, drogą wprowadzenia innej metody analitycznej.

Taką drogę obrał Mayrhofer (Ztschr. für das ges. Schiess-und Sprengstoffwesen, 1918, — str. 425), gdy badania, przeprowadzane nad stałością prochów nitroglicerynowych, zmusiły go do wykonywania dużej ilości prób.

Powziął on wtedy szczęśliwą w zasadzie myśl zastąpienia wody w nasadkach rurek Bergmanna przez 2%-wy roztwór jodku potasu KI.

Powstające w wyniku rozkładu badanych materjałów tlenki azotu, działając na wspomniany roztwór, wydzielają zeń jod, przyczem roztwór zabarwia się na kolor brunatny.

Postępuje się naogół analogicznie jak w próbie oryginalnej. Po ukończeniu ogrzewania, gdy już roztwór jodku potasu i jodu został przeciągnięty do probówki z badanym materjałem, spłukuje się nasadkę wodą dystylowaną i dopełnia się objętość cieczy w probówce do 50 cm³ (w razie bardzo obfitego wydzielania się tlenków azotu do probówki wprowadza się jeszcze kilka kryształków jodku potasu). Wreszcie oznacza się ilość wydzielonych tlenków azotu, drogą odmia-

nowania wydzielonego jodu zapomocą n/10 roztworu tiosiarczanu sodu, $Na_2 S_2 O_3$.

Ta, na pierwszy rzut oka, tak prosta i szybka metoda nasuwa przy dokładniejszem jej rozważeniu poważne zastrzeżenia. Wydzielony bowiem jod, który odpowiada ilości tlenków azotu, reaguje z bawełną strzelniczą i prochami bezdymnemi i przytem w rozmaitym stopniu dla poszczególnych ich gatunków. Okoliczność powyższa oczywiście stać się może powodem błędnych oznaczeń ilości wydzielonych tlenków azotu.

Drogą wprowadzenia odpowiednich zmian w budowie rurek Bergmanna, celem których byłoby zapobieganie zetknięciu się roztworu jodu z badanym materjałem wybuchowym, wydaje się możliwe tego rodzaju udoskonalenie metody Mayrhofera, że mogłaby ona z powodzeniem zastąpić bardziej złożoną, a mniej dokładną metodę Schlösinga.

Jak już wspomniano wyżej, głównym celem badań Mayrhofera było opracowanie próby stałości chemicznej dla prochów nitrogliceiynowych.

W tym celu zajął się on dokładnem zbadaniem znanego zjawiska, jakim jest wpływ, wywierany przez wodę na materjały wybuchowe w ogólności, zaś na wspomniane prochy w szczególności. Okazało się, że w pewnych warunkach stosunkowo nieznaczne ilości pary wodnej mogą spowodować przyśpieszony rozkład (zmydlenie) prochów nitroglicerynowych.

Np., wystarczy podziałać 0,05 gr wody na 2 gr prochu, by spowodować w wysokiej temperaturze rozkład tego ostatniego, rozkład tem szybszy im mniej stały jest proch.

W wypadkach, w których zwykła próba cieplna (dla niestałych prochów nitroglicerynowych) zawodzi, zastosowanie, przy wykonywaniu jej, nieznacznych ilości wody prowadzi do wyraźnych wyników.

Wobec tego, że wpływ wilgoci, przyśpieszający rozkład prochu, przejawia się w niejednakowym stopniu dla prochów stałych i mniej stałych, drogą równoległego badania próbek prochów, raz w stanie suchym, a drugi po dodaniu do nich nieznacznych ilości (0,05 do 0,25 gr) wody, możliwe jest uwydatnienie różnic stałości, których nie udałoby się rozpoznać innemi sposobami, z takim samym stopniem pewności.

Bardzo stałe prochy odszczepiają w obecności wody ilości tlenków azotu, mało różniące się od ilości, wydzielanych przez tenże proch w stanie suchym; mniej stałe prochy odszczepiają w pierwszym wypadku znacznie więcej tlenków. Różnice te uwydatnia tablica 11-ta, w której podane są przykłady, zaczerpnięte z omawianej pracy Mayrhofera.

TABLICA 11.

Nr. próbki prochu nitroglic. (25 — 30% nitroglic.)	Ilość cm³ tlenków azotu, wydziel. po 2-godz. ogrzewaniu prochu w 134⁰ (z 1 gr prochu).	
	z suchego prochu	ze zwilżonego
2	0,9	0,6
8	0,5	0,65
35	0.8	0,9
66	0,55	2,15
63	0,7	12,75
69	0,8	14,3

Z tablicy powyższej widzimy, że prochy, oznaczone numerami: 2, 8, 35 i 66, są bardziej stałe od prochów Nr. 63 i Nr. 69, podczas gdy zwykła próba tych różnic nie uwydatnia.

Przebieg zjawiska rozkładu jest następujący. Dla prochów zwilżonych, w większości wypadków, odszczepianie gazów nitrowych rozpoczyna się później, niż dla ogrzewanych w stanie suchym, natomiast w dalszych okresach rozkład dla pierwszych zachodzi gwałtowniej. Obserwuje się przytem zjawisko jak gdyby stapiania się prochu, przyczem ulegająca rozkładowi nitrogliceryna wydziela obfitą pianę. Prochy nitroglicerynowe o ostrych brzegach (sześciany, płytki i t. p.) deformują się całkowicie, stają się miękkie i zlepiają się powierzchniami. Sam rozkład pomimo obfitego wydzielania się ciemno-czerwonych tlenków azotu bardzo często zachodzi bez wybuchu.

Metoda badania stałości prochów nitroglicerynowych Mayrhofera została sprawdzona w Zentralstelle Neubabelsberg przez W. Will'a (Ztschr. für das ges. Schiess-und Sprengstoffwesen, 1919, str. 61).

Badania Will'a potwierdziły w zupełności celowość proponowanego przez Mayrhofera równoległego badania suchej i zwilżonej próbek danego prochu.

Okazało się, że dla prochów niestałych w wielu wypadkach już po upływie jednej godziny zaznaczają się wydatne różnice dla obu

próbek, np., dla suchej próbki — 2 cm^3 i 0,6 cm^3, a dla zwilżonej odpowiednio 53 i 68 cm^3.

Dla prochów stałych dopiero pięciogodzinne ogrzewanie uwydatnia różnice: po I-ej godzinie otrzymano 1,6 cm^3 i 1,5 cm^3; po upływie 2-ch godzin — 4,2 — 4,6 cm^3 (dane z 5-ciu próbek) i 4,8 do 5,7 cm^3, wreszcie po upływie 5-ciu godzin — odpowiednio 9,4 — 10,8 cm^3 i 58 — 86 cm^3.

Dla wybitnie stałych prochów nawet po pięciogodzinnem ogrzewaniu ilości wydzielonych tlenków dla obu wypadków różnią się nieznacznie. Otrzymano np. dla suchej próbki (z 5-ciu oznaczeń) 6,8 do 11,2 cm^3, a dla zwilżonej — 7 do 10 cm^3.

(dokończenie nastąpi).

662.231 + 662.35

Ppłk.-inż. RAKOWSKI HENRYK.

ROZKŁAD PROCHU BEZDYMNEGO.

W Nr. 52 czasopisma „Army Ordnance" (ze stycznia—lutego 1929 r.) płk. rez. C. G. Storm, Szef Sekcji materjałów wybuchowych Wydziału Amunicji Dep. Uzbrojenia amerykańskiej armji, ogłasza artykuł pod powyższym tytułem, opisując w nim szczegółowo przyczyny, objawy i skutki rozkładu prochu bezdymnego.

Wobec tego, że sprawa przechowywania prochów, tak luźnych jak i w amunicji, ma pierwszorzędne znaczenie dla każdej armji, podaję poniżej artykuł płk. Strom'a prawie in extenso, uzupełniając go danemi, zaczerpniętemi z innych źródeł.

Artur Marshall w dziele swem o materjałach wybuchowych (Explosives, 1917) słusznie twierdzi, iż „przy nowoczesnych materjałach wybuchowych najważniejszą i najtrudniejszą do ujęcia jest sprawa ich stałości". Problem ten jest jednak specjalnie ważny tylko przy materjałach wybuchowych, należących do kategorji estrów kwasu azotowego, której głównymi przedstawicielami są nitroceluloza i nitrogliceryna. Proch czarny, przy odpowiedniem zabezpieczeniu od wilgoci, daje się przechowywać nieskończenie długo. Kwas pikrynowy, trójnitrotoluol i inne wybuchowe nitrozwiązki aromatyczne, jak stwierdzono, nie podlegają większym zmianom przy przechowywaniu w ciągu wielu lat. Estry kwasu azotowego jednak, w tej liczbie nitroceluloza i nitrogliceryna, nawet przy najlepszych warunkach przechowywania podlegają stopniowemu rozkładowi, a wzrost temperatury lub działanie wilgoci rozkład ten przyśpieszają. Przy rozkładzie estrów wydzielają się tlenki azotu, które łączą się z tlenem powietrza i tworzą z wilgocią wolny kwas azotowy. Wolny kwas działa na masę materjału wybuchowego, powodując dalsze wydzielanie się tlenków azotu i przyśpieszając w ten sposób proces rozkładu.

Rozkład estru przyspieszają również ewentualne zanieczyszczenia w surowcach, użytych do fabrykacji, oraz niestałe niższe estry, które mogą powstać podczas procesu nitracji. Przy fabrykacji prochu bezdymnego stosuje się wobec tego wszystkie możliwe środki, zabezpieczające stałość jego. Bawełnę, stosowaną do wyrobu nitrocelulozy, zakupuje się podług warunków technicznych, wyłączających, o ile to w praktyce jest możliwe, wszelkie szkodliwe zanieczyszczenia w niej. Nitrocelulozę, zaraz po wyprodukowaniu, bardzo dokładnie oczyszcza się (stabilizuje), celem możliwie zupełnego usunięcia z niej wszelkich śladów wolnego kwasu i niestałych niższych estrów. Rozpuszczalnik, stosowany przy żelatynizacji nitrocelulozy, musi odpowiadać bardzo surowym warunkom technicznym i we wszystkich stadjach fabrykacji produkt starannie ochrania się od przypadkowego zanieczyszczenia. Dalszym środkiem przedłużenia życia prochu bezdymnego jest dodawanie do masy prochowej stabilizatora-dwufenyloaminy. Substancja ta posiada wielką skłonność do łączenia się z wolnym kwasem azotowym, szybko absorbuje wszelkie ślady kwasowości, istniejące w prochu lub powstające w początkach rozkładu i przez to zabezpiecza proch od przyśpieszonego rozkładu, jaki mógłby nastąpić pod wpływem tej kwasowości.

Pod działaniem kwasowych produktów rozkładu prochu, dwufenyloamina przekształca się, według wszelkiego prawdopodobieństwa, kolejno w dwufenylo-nitrozo-aminę, nitro-dwufenylo-nitrozo-aminę, dwunitro-dwufenylo-aminę i trójnitro-dwufenylo-aminę. Niektóre z tych związków rzeczywiście wydzielono z rozkładających się prochów bezdymnych. Gdy dwufenyloamina zostanie „zneutralizowana", t. j. znitrozowana do końca przez produkty rozkładu prochu, dalszy rozkład prochu przechodzi tak, jak gdyby on nie zawierał żadnego stabilizatora. Można byłoby wobec tego przypuszczać, że życie prochu da się jeszcze więcej przedłużyć przez podniesienie w nim zawartości dwufenyloaminy. Sprawa jednak nie jest tak prosta. Przedewszystkiem, zwiększenie zawartości dwufenyloaminy, substancji obojętnej, nie wybuchowej, wpłynęłoby ujemnie na własności balistyczne prochu. Wywołałoby to potrzebę odpowiedniego podwyższenia ładunku prochowego, a tem samem zwiększenia gęstości ładowania w komorze ładunkowej. Jest to wzgląd bardzo ważny szczególnie przy broni o stosunkowo małych komorach ładunkowych. Poza tem, zbyt wysoka zawartość dwufenyloaminy w prochu, naprzykład 10%, jak stwierdzono, obniża stałość prochu wskutek zasadowych własności dwufenyloaminy. W prochach amerykańskiej armji podczas wojny

światowej, obowiązywała zawartość dwufenyloaminy 0,5%, po wojnie wymaga się 1%, gdyż wyczerpujące badania wykazały, że podwyższenie to będzie z korzyścią dla stałości prochów.

Należycie wyprodukowany proch nitrocelulozowy, starannie zabezpieczony od zewnętrznych wpływów i przechowywany w odpowiednich warunkach, zachowuje stałość dość długo. Przed wprowadzeniem stabilizatorów obliczano, że proch powinien zachować się w stanie, przydatnym do użytku, w ciągu 15 do 20 lat. Dodanie stabilizatora powinno spowodować dalsze przedłużenie wieku prochu. W amerykańskiej armji jeszcze i teraz znajduje się na uzbrojeniu w ładunkach dużo prochów działowych, wyprodukowanych 15 do 20 lat temu i nie zawierających żadnego stabilizatora, jak również dużo prochów luźnych (w hermetycznych skrzyniach prochowych pojemności około 60 kg), tak ze stabilizatorem jak i bez stabilizatora, mających 15 lat wieku i pod względem stałości jeszcze dobrych.

Poza dokładnością fabrykacji, dla zabezpieczenia stałości prochu bezdymnego nadzwyczaj ważną sprawą jest odpowiednie przechowywanie jego. Przy ostatecznem suszeniu świeżo wyprodukowanego prochu niemożliwe jest usunięcie z ziarn całej ilości zawartego w nich rozpuszczalnika (eteru i alkoholu). Ilość rozpuszczalnika, która może pozostać w prochu, jest dokładnie ustalona dla każdego poszczególnego stopnia granulacji: proch o większych ziarnkach, przeznaczony do użytku w działach większych kalibrów, ma zawierać naturalnie więcej pozostałego rozpuszczalnika niż proch o małych ziarnkach, stosowany w działach polowych, lub proch do broni małokalibrowej. Ponadto, proch nitrocelulozowy jest dość hygroskopijny. Ma on skłonność w wilgotnej atmosferze pochłaniać wilgoć i stopniowo tracić ją w atmosferze suchej. Wobec tego w chwili pakowania do skrzynek proch powinien zawierać pewną określoną ilość wilgoci, ustaloną przez praktykę tak, aby podczas przechowywania zmieniała się ona w możliwie małych granicach. W chwili więc, gdy proch poddaje się balistycznym badaniom w celu wypośrodkowania ładunku jego w odnośnej amunicji, zawiera on pewne określone ilości rozpuszczalnika i wilgoci. Jeżeli przy przechowywaniu prochu ilości te ulegną zmianie, to zmienią się i własności balistyczne wypośrodkowanego ładunku. Dla uniknięcia tej ewentualności proch musi być przechowywany w szczelnem hermetycznem opakowaniu, w dobrze wentylowanych suchych magazynach, nie wykazujących większych wahań temperatury.

Takie warunki przechowywania są wskazane również i ze wzglę-

du na stałość prochu. Stwierdzonym faktem jest, że skłonność wszystkich estrów kwasu azotowego do rozkładu zwiększa się ze wzrostem temperatury.

Im niższa temperatura magazynu, tem dłużej, przy pozostałych jednakowych warunkach, proch zachowa swą stałość. Wilgoć w prochu bezdymnym również wywołuje przyśpieszenie rozkładu i słusznie ustaliło się zdanie, że ciepło i wilgoć są największemi wrogami stałości prochu przy przechowywaniu. Badania wykazują, że przy danej temperaturze szybkość rozkładu prochu jest większa w wilgotnej atmosferze, niż w atmosferze suchej. Często obserwowano, że próbka nitrocelulozy, przygotowana do próby cieplnej przy 135^0 C. w zwyky sposób — suszeniem w otwartem naczynku przy 40^0 C., wydzielała żółte pary przy 135^0 C. po 1—2 godzinach, podczas gdy druga takaż próbka, z której wilgoć była możliwie dokładnie usunięta przez suszenie w vacuum, wytrzymywała temperaturę 135^0 C. w ciągu 5 godzin i więcej bez wydzielania dostrzegalnych żółtych par. Ta różnica w szybkości rozkładu zachodzi wyłącznie skutkiem różnicy w zawartości wilgoci w nitrocelulozie.

W Picatinny Arsenal próbkę normalnego prochu bezdymnego (pyrokolodjonowego), wytrzymującego w ciągu 400 dni stałą temperaturę 65,5^0 C, bez wydzielania żółtych par i w ciągu 5 godzin bez eksplozji temperaturę 135^0 C., umieszczono w atmosferze, nasyconej wilgocią, i przechowywano przy stałej temperaturze 50^0 C. Proch po 175 dniach takiego przechowywania wykazał rozkład z wydzieleniem żółtych par, a przy badaniu w temperaturze 135^0 C. eksplodował po 10 minutach. Analogiczne próby z prochami t. zw. niehygroskopijnemi, (które zaczęto produkować w Stanach Zjednoczonych po wojnie światowej, wykazały, że po dwuletniem przechowywaniu w nasyconej wilgocią atmosferze przy 50^0 C. prochy te są jeszcze zupełnie dobre.

Badania Vielle'a stwierdziły, iż strata pozostałego rozpuszczalnika wywołuje szybszy spadek stałości prochu nitrocelulozowego. Fakt ten jest obecnie ogólnie uznany. Tłumaczyć go sobie można w ten sposób, że strata rozpuszczalnika wywołuje w ziarnie prochowem mikroskopijne pęknięcia i pory, powstające wskutek wydzielania się par rozpuszczalnika z wnętrza masy koloidu. W miarę straty rozpuszczalnika porowatość ziarna, a wskutek tego i gotowość do absorbowania wilgoci z powietrza, wzrasta i rozkład prochu pod wpływem wilgoci przyśpiesza się. Ponadto, pozostały rozpuszczalnik, w szczególności alkohol, pełni w prochu poniekąd funkcje stabilizatora, łącząc się chemicznie ze śladami tlenków azotu, powstających w pierw-

szem stadjum rozkładu. Dowodem tego jest słodkawy zapach azotynu etylowego, często dający się wyczuwać przy otwieraniu skrzynek z prochem o zupełnie dobrej pozornie stałości. Ester ten może się wytworzyć tylko skutkiem działania tlenków azotu na rozpuszczalnik w prochu.

Z powyższego wynika, iż skłonność prochów do rozkładu zmniejsza się przy przechowywaniu go w jak najniższych temperaturach i w warunkach, wykluczających absorbcję wilgoci z powietrza i stratę pozostałego rozpuszczalnika. A więc, tak wzgląd na zachowanie balistycznych własności jak i wzgląd na stałość chemiczną, wymaga przechowywania prochu w dobrze wentylowanych suchych magazynach i w szczelnem opakowaniu, indywidualnie sprawdzonem na hermetyczność.

Przy rozkładzie prochu wytwarza się ciepło. Jeżeli zachodzi rozkład szybki, jak to ma miejsce naprzykład przy próbie stałości w temperaturze 135° C, przy której proch ogrzewa się do wysokiej temperatury, to może nastąpić zapalenie się lub eksplozja prochu. W tym wypadku proch w chwili zapalenia się posiada niewątpliwie temperaturę znacznie wyższą od 135° C, do której ogrzana jest otaczająca go kąpiel. Jeżeli małą próbkę prochu nitrocelulozowego ogrzewać stopniowo tak, aby wzrost temperatury wynosił tylko około 5° C, na minutę, to proch zapala się przy temperaturze około 170 do 180° C. Naogół można powiedzieć, że wszystkie prochy nitrocelulozowe, tak stałe jak i niestałe, zapalają się w tych granicach temperatury. Jeżeli zapalenie się występuje, chociaż proch ogrzany jest do temperatury o wiele niższej, to słuszne jest rozumowanie, że wytwarzanie się ciepła wewnątrz masy prochowej, jako wynik rozkładu podniosło temperaturę prochu znacznie wyżej od temperatury otaczającego środowiska i w końcu doprowadziło pewną część masy prochu do temperatury zapłonienia, t. j. do 170 — 180° C.

Na takiem wydzielaniu się ciepła przy rozkładzie prochu oparta jest angielska próba stałości dla kordytu, t. zw. „próba w posrebrzanem naczyniu“ (silvered vessel test). Przy próbie tej 50 gr. prochu umieszcza się w zamkniętem szklanem naczyniu, otoczonem posrebrzonym płaszczem, aby zmniejszyć stratę ciepła przez promieniowanie. W środku prochu umieszcza się kulkę termometru i naczynie wstawia się do kąpieli o stałej temperaturze 80° C. Próba jest zakończona, gdy proch wykaże temperaturę 82° C, a czas, potrzebny dla osiągnięcia tej temperatury, jest wskaźnikiem stałości prochu.

Jeżeli rozkład zachodzi stosunkowo powoli lub ilość prochu

jest mała, to ciepło, wydzielające się przy rozkładzie, rozprasza się dostatecznie szybko i do samozapalenia się prochu nie dochodzi. Małe próbki niestałych prochów, trzymane w szklanych słoikach, często rozkładają się do tego stopnia, że ziarnka tracą swój pierwotny kształt i stają się zupełnie niepalne, ale nie zaobserwowano przytem nigdy samozapalenia się prochu wobec małych ilości jego.

Jako dowód rozpraszania się ciepła rozkładu może służyć również próba, przeprowadzona z amunicją karabinową kalibru 0,30", zawierającą proch o silnie posuniętym rozkładzie. Skrzynkę z 2000 takich nabojów, zawierających ogółem około 6 kg prochu, umieszczono w magazynie o stałej temperaturze 50° C, i wstawiano w skrzynkę samozapisujący termometr, notujący stale temperaturę nabojów. W ciągu 30 dni temperatura nabojów wzrosła do 65° C, t. j. do temperatury o 15° wyższej niż temperatura magazynu. Na tej wysokości temperatura utrzymywała się dokładnie w ciągu 10 tygodni, poczem zaczęła stopniowo opadać i doszła do temperatury magazynu (50° C.) po 5 miesiącach. Próba nie jest jeszcze zakończona. Ma ona być uzupełniona przez rozelaborowanie pewnej ilości nabojów i zbadanie prochu. Z dotychczasowego doświadczenia jednak można przepowiedzieć, iż proch okaże się w takiem stadjum rozkładu, że nie będzie się już palił. Należy przypuścić, iż samozapalenie się nie nastąpiło w danym wypadku wobec szybkiego pochłonięcia i rozproszenia ciepła rozkładu stosunkowo małych ładunków prochu przez metal mosiężnych łusek (ładunek prochowy wynosi około 3,2 gr, podczas gdy łuska zawiera prawie 13 gr mosiądzu).

W Picatinny Arsenal przeprowadza się obecnie próbę z amunicją do 75 mm dział. Ładunki prochowe, około 700 gr każdy, przygotowano specjalnie, wybierając ziarnka z partji rozkładającego się prochu w ten sposób, aby otrzymać mieszaninę równych ilości ziarn plamistych niestałych i ziarn normalnych przepisowej stałości. Zrobiono 9 nabojów o takich ładunkach, umieszczono je w normalnej skrzyni amunicyjnej i zamagazynowano przy stałej temperaturze 50° C. celem stwierdzenia, czy rozkład prochu będzie postępował dostatecznie szybko, aby spowodować samozapalenie się jego. Zachodzi prawdopodobieństwo, iż wpływ metalowych łusek zapobiegnie zapaleniu się prochu, jak to miało miejsce z amunicją kalibru 0,30".

Rozkład prochu nitrocelulozowego wywołuje zmiany w fizycznych własnościach jego i w wyglądzie zewnętrznym. Reakcja produktów rozkładu z dwufenyloaminą, zawartą w prochu, powoduje tworze-

nie się substancji, zabarwionej na żółto i nadającej ziarnkom silnie rozłożonego prochu pomarańczowo-żółte zabarwienie. Często spotyka się ziarnka, w których rozkład obejmuje nie całą masę, a występuje lokalnie, w małych plamach. Plamy te mają wybitnie żółte zabarwienie i często są kruche lub miękkie. W miarę rozwoju kwasowości w tych lokalnych ośrodkach rozkładu całe ziarno stopniowo staje się żółte i tak kruche, że można go zgnieść w palcach; zapalić go można wtedy tylko z trudnością.

Po raz pierwszy spostrzeżono takie plamiste ziarnka około 5 lat temu w działowych prochach mniejszej granulacji, pochodzących z produkcji czasu wojny (1917—1918 r.).[1]) Ziarnka te wykazywały bardzo niską stałość podczas gdy ziarnka o normalnym wyglądzie z tej samej skrzynki lub z tego samego ładunku wytrzymywały wszystkie próby stałości, stosowane przy odbiorach prochów nowych. Możliwe, że przyczyną tych miejscowych ośrodków rozkładu były zanieczyszczenia, znajdujące się w bawełnianym lintersie gorszego gatunku lub w łuskowych włóknach, które z braku lepszego surowca musiano używać podczas wojny, lub też drobniutkie węzły znitrowanych włókien, nie rozszarpane należycie przy operacji mielenia i przez to niedostatecznie odmyte od kwasów przy procesie przemywania.

Fakt, że ziarnka plamiste spotyka się przeważnie w prochach o małej granulacji, tłumaczy się niewątpliwie tem, że prochy te, posiadając przy danej wadze większą powierzchnię zewnętrzną, zawierają zwykle więcej wilgoci i że zawartość w nich pozostałego rozpuszczalnika jest mniejsza niż w prochach o większych ziarnkach. Poza tem, podczas wojny światowej prawie wszystkie prochy o mniejszych ziarnkach suszono, t. zw. „procesem wodnym", t. j. usuwano rozpuszczalnik przez moczenie prochu w wodzie. Proces ten zastosowano, jako konieczność, aby uniknąć zwłoki w produkcji, zachodzącej przy normalnej, więcej powolnej metodzie suszenia powietrzem, która to metoda zwykle była stosowana przed wojną przy wszystkich prochach, a podczas wojny tylko przy prochach o większych ziarnach. Prochy, suszone metodą wodną, zawierają zwykle mniej pozostałego rozpuszczalnika, aniżeli prochy tejże granulacji, suszone powietrzem, i zrozumiałe jest, że przy usuwaniu rozpuszczalnika przez zanurzanie prochu do wody, można otrzymać koloid więcej porowaty

---

[1]) U nas, zupełnie niezależnie, wykryto takie ziarnka w prochu US_3 produkcji wojennej 2 lata temu w Centrali Badań Laboratoryjnych IBMU — p. artykuł Eug. Kaczmarkiewicza w Przeglądzie Artyleryjskim Nr. 4 z kwietnia 1927 r.

i wskutek tego więcej podatny do absorbowania wilgoci podczas następnego przechowywania.

Mniej więcej 3 lata temu w Stanach Zjedn. zainicjowano badania, celem wyjaśnienia skutków dalszego przechowywania prochów, zawierających ziarnka o obniżonej stałości, z plamami. Partję prochu do 75 mm dział, w której znaleziono pewien niewielki odsetek takich ziarn, przesortowano ręcznie, zestawiono partje z ziarn plamistych rozkładających się i ziarn normalnych w ściśle określonym stosunku, nasypano do skrzyń prochowych pojemności około 60 kg każda i zamagazynowano w małych improwizowanych schronach przy normalnej temperaturze w trzech rozmaitych miejscowościach, aby zbadać jednocześnie wpływ różnych klimatycznych warunków. Schrony te urządzono: w składzie uzbrojenia Charleston w pobliżu Charleston S. C. (stan Południowa Karolina), w składzie uzbrojenia Curtis Bay w pobliżu Baltimore Md. (stan Maryland) i w Picatinny Arsenal, Dover N. I. (stan New Jersey). Okresowo proch wysypywano ze skrzynek i sprawdzano stosunek ziarn zepsutych plamistych do ziarn zdrowych.

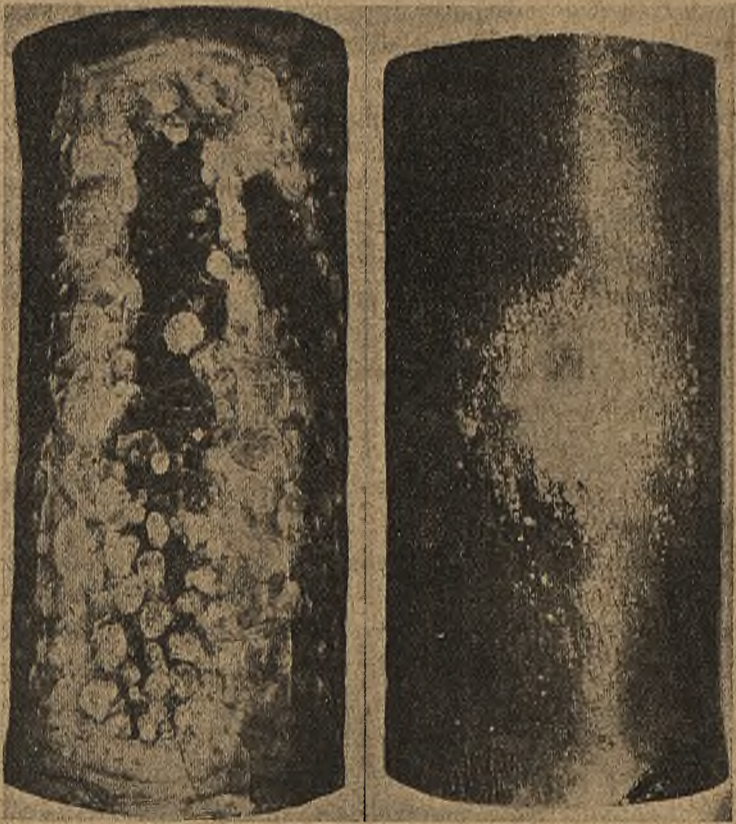
W wyniku tych badań stwierdzono co następuje:

1. Procentowa zawartość ziarn zepsutych stopniowo wzrastała w każdej skrzyni; szybkość tego wzrostu była większa w więcej ciepłym klimacie i w tych skrzyniach, w których odrazu był większy odsetek ziarn zepsutych.

2. Postęp rozkładu był najszybszy w Charleston, gdzie przeciętna temperatura w okresie badań była około 8^0 wyższa niż w Curtis Bay i o 15^0 wyższa niż w Picatinny Arsenal. Ponadto, we wszystkich tych miejscach szybkość rozkładu była większa podczas letnich miesięcy niż podczas miesięcy zimowych i wszystkie wypadki samozapalenia się prochu w Charleston miały miejsce w okresie od lipca do września.

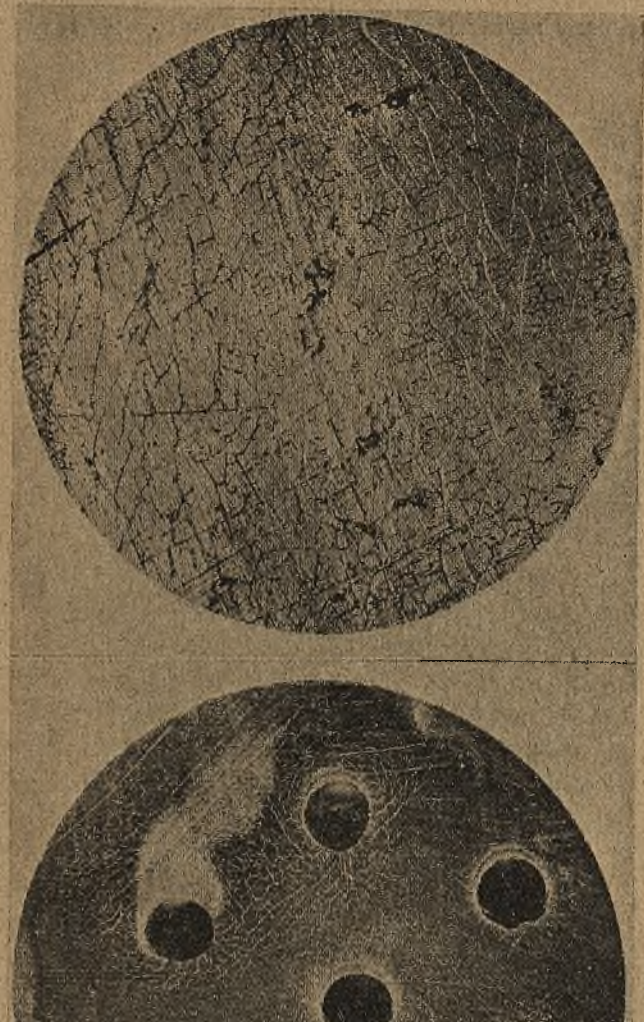
3. Trzy skrzynie, które początkowo zawierały 3,10 i 20% ziarn zepsutych, zapaliły się samoczynnie podczas przechowywania w Charleston, jedna mniej więcej w końcu drugiego roku i dwie inne po mniej więcej 3 latach przechowywania. Badania były o tyle niekompletne, że zawartość zepsutych ziarn w chwili samozapalenia się prochu nie została określona, gdyż okresowe sortowanie prochu przerwano już wcześniej wobec niebezpieczeństwa manipulowania takim zepsutym prochem. Oceniano jednak, że w każdej skrzyni zawartość zepsutych ziarn w chwili samozapalenia się wynosiła w przybliżeniu około 50%.

Z powyższego nie należy wnioskować, że proch, przechowywany w skrzyniach, nie może samoczynnie, w wyniku rozkładu, zapalić się, dopóki połowa ziarn w skrzyni nie ulegnie silnemu rozkładowi. Należy pamiętać, że z badanych skrzyń proch okresowo wysypywano dla sortowania go, dając przez to możność ulatniania się gazom nitrowym, które w zetknięciu z prochem, jak to definitywnie stwierdzono, działają katalitycznie i przyśpieszają rozkład prochu[2]). Poza tem, każ-



Ryc. 1.

[2]) Dr. Tunegutti z Centr. Laboratorjum Chem. włoskiej marynarki wojennej w Spezia w czasopiśmie „Zeitschrift, für das gesamte Schiess- und Sprengsstoffwesen" z 1926 r. str. 81 dowodzi, że stałość tak nitrocelulozy jak i prochów nitroglicerynowych jest właściwością addytywną i kwestjonuje katalityczne działanie produktów rozkładu na pozostałą masę nitrocelulozy względnie prochu nitroglicerynowego. Twierdzenie to opiera na badaniach Lenze i Pleus'a z nitrocelulozą i badaniach własnych z prochami nitroglicerynowemi, które to badania wykazały, że stałość mieszaniny nitrocelulozy o obniżonej stałości z nitrocelulozą o wyższej



Rys. 2.

da z tych skrzyń była przechowywana osobno, przez co ciepło, wytwarzające się przy rozkładzie, miało więcej ułatwione rozpraszanie

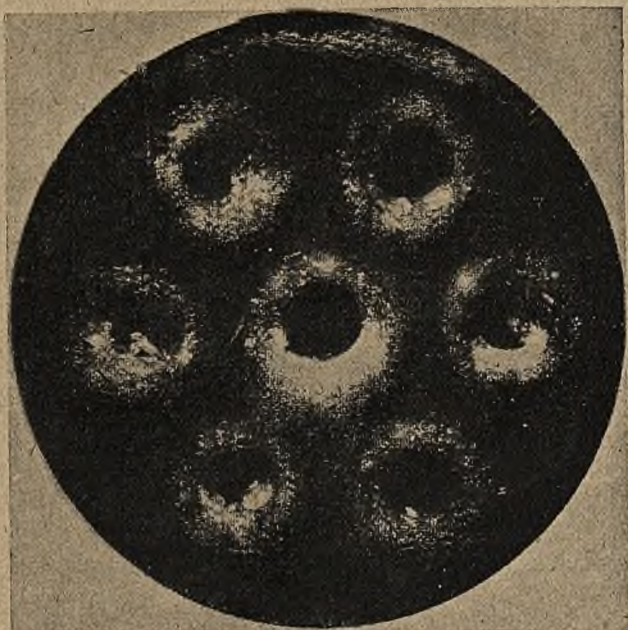


Rys. 3.

stałości, jak również takiejże mieszaniny prochów nitroglicerynowych, równa się średniej arytmetycznej stałości komponentów. Przeciwko temu twierdzeniu przemawia wiele względów. Prof. Brunswig w odpowiedzi na nie wyraził zdanie, iż takie generalizowanie nie jest racjonalne.

się, niżby to było w wypadku, gdyby skrzynie te stanowiły część stosu wewnątrz magazynu prochowego.

Ważną sprawą jest przeto, aby przy pomocy odpowiedniej metody badania dało się wykrywać w zapasach prochu bezdymnego obecność poszczególnych ziarn o obniżonej stałości, zanim rozkład dojdzie do stadjum, w którem grozi już niebezpieczeństwo samozapalenia się prochu.



Rys. 4.

W prochu o wielkich ziarnkach jedyny raz tylko zaobserwowano tego rodzaju plamisty rozkład. Było to w próbnej partji prochu do 14-calowych dział, wyprodukowanej specjalnym sposobem, który niewątpliwie ponosi winę za niestałość tego prochu. Z partji tej wydzielono niektóre ziarnka w celu zobrazowania charakterystycznego wyglądu plamistych ziarn o silnie posuniętym rozkładzie. Rys. 1 wykazuje oznaki daleko posuniętego rozkładu, widoczne na powierzchni ziarn; ziarno z lewej strony ma zielonkawo-żółte plamy i silnie popękaną powierzchnię; ziarno z prawej strony — żółtą plamę, wskazującą na miejscowy rozkład, i silnie popękaną całą powierzchnię ziarna. Rys. 2 z lewej strony przedstawia poprzeczny przekrój ziarna i wykazuje pęknięcia, idące od powierzchni kanałów wewnątrz ziar-

na; rys. 2 z prawej strony przedstawia część tegoż przekroju między kanałami, na którem pęknięcia są więcej widoczne dzięki znaczniejszemu powiększeniu. Rys. 3 i 4 przedstawiają podłużne i poprzeczne przecięcia ziarna, podanego na rys. 1. Widać na nich wyraźnie oznaki posuniętego rozkładu i pęknięcia masy prochowej, idące od powierzchni kanałów wewnątrz ziarna.

Powyższy artykuł płk. Storma pozwalam sobie, jak podano na wstępie, uzupełnić danemi, dotyczącemi stałości prochów, a zaczerpniętemi z innych źródeł. W „Jahresbericht V der chemisch-technischen Reichsanstalt" za 1926 rok podany jest opis próby, dokonanej w „Reichsanstalt", spadkobiercy przedwojennego „Militärversuchsamt", w celu stwierdzenia, czy możliwe jest w wyniku rozkładu samozapalenie się prochu nitrocelulozowego. Zdobyczny rosyjski proch wstęgowy, wykazujący oznaki rozkładu, umieszczono w skrzyni prochowej, składającej się z blaszanki cynkowej i skrzyni drewnianej, skrzynię tę wstawiono do drugiej drewnianej skrzyni i przestrzeń pomiędzy skrzyniami wypełniono popiołem, aby, o ile możliwe, zmniejszyć rozpraszanie się ciepła rozkładu. (Ilość prochu w skrzyni, niestety, nie została wskazana). Dla ochrony od opadów atmosferycznych skrzynię ustawiono pod przykryciem. W ten sposób trzymano proch w ciągu 6 lat, od 1920 r. do 1926 r. W ostatnich latach proch było czuć tlenkami azotu, kwasem octowym i kwasem masłowym. Wobec tego, że po 6-ciu latach nie można już było liczyć na samozapalenie się prochu, w 1926 r. postanowiono go zniszczyć. Stwierdzono przytem, że większa część prochu pozostała zewnętrznie niezmieniona i posiadała jeszcze normalną zdolność palenia się. Natomiast mniejsza część, wstęgi 100×14×1 mm, była w stanie silnego rozkładu i paliła się już z wielką trudnością. Wstęgi przyjęły białawe zabarwienie, wystąpiły na nich pęcherze, niebiesko-zielone plamy i krystaliczne naloty na powierzchni; w tych ostatnich stwierdzono obecność kwasu szczawiowego. Wstęgi te przy zapalaniu nie paliły się już, a tylko podobnie jak bawełna, tliły się z wydzieleniem dymu. Zawartość azotu w jednej próbie znaleziono 8,9%, a w drugiej — 10,15%. Przy określaniu punktu zapłonienia proch ten zapalał się przy 122—125° C. bez trzasku, dając czasami dużo dymu. Zewnętrznie niezmienione, dobrze palące się wstęgi prochu wykazały punkt zapłonienia 166 do 168,5° C. z miernym trzaskiem.

Na podstawie powyższej próby Reichsanstalt'u możnaby dojść do wniosku, że rozkład prochu w poszczególnej skrzynce nie grozi samozapaleniem się. Takiego właśnie zdania był widocznie w swo-

im czasie rosyjski prochowiec En. Że., twierdząc w lutowym zeszycie czasopisma „Tiechnika i snabżenje krasnoj armji" z 1925 roku, iż samozapalenie się może nastąpić tylko przy przechowywaniu dużych ilości luźnego prochu, ale nie przy normalnie przyjętym systemie magazynowania prochów w składach amunicyjnych. Przytaczając to zdanie w Przeglądzie Artyleryjskim Nr. 7 — 8 z 1925 r. (str. 243), uzupełniłem je uwagą o znanych z literatury wypadkach samozapalenia się nawet bardzo niewielkich ilości prochów bezdymnych myśliwskich (2—3 kg.). Już jednak w 3 lata później w artykule o pożarach w składach amunicyjnych, ogłoszonym w czasopiśmie „Wojna i Tiechnika" Nr. 1 z 1928 r., En. Że. cofa się z poprzednio zajętego stanowiska i stwierdza, że nawet jedna skrzynka prochu bezdymnego, przechowywana w złych warunkach, może spowodować pożar magazynu.

Reasumując powyższe zdania i wyniki badań, widzimy, że rozkład prochu bezdymnego nie musi, ale może doprowadzić do samozapalenia się jego. Dla uniknięcia więc tego rodzaju wypadków w składach amunicyjnych, niezbędne jest dokładne rozsegregowanie zapasów na partje i stała ich kontrola chemiczna. Aby wyniki kontroli chemicznej były miarodajne, odbierane do badań próbki muszą rzeczywiście reprezentować daną partję prochu. Będzie to miało miejsce tylko o tyle, o ile poszczególne partje są przechowywane w absolutnie jednakowych warunkach i skrzynki okresowo sprawdzane indywidualnie na hermetyczność.

Sprawa przechowywania prochów bezdymnych ogromnie się ułatwi, jeżeli próby przechowywania ich w wodzie, prowadzone obecnie w wielu krajach, dadzą wyniki zadawalniające. W Nr. 37 „Army Ordnance" z lipca-sierpnia 1926 r. w opisie Picatinny Arsenal, Fred Olsen pisze:

„Jeżeli badania balistyczne prochu, przechowywanego obecnie w Picatinny Arsenal w wodzie, będą i nadal dawały wyniki zadawalniające, to wiele trudności, powstających obecnie przy przechowywaniu prochów, zostanie rozwiązanych. Niebezpieczeństwo przechowywania prochów faktycznie odpadnie, ochrona składów znacznie ułatwi się i proch będzie przydatny do użytku w ciągu dłuższego czasu, niż obecnie".

Wzmianka ta wskazuje, że prochy, przechowywane w Picatinny Arsenal w wodzie od 1924 roku, po dwóch latach wciąż jeszcze dawały wyniki balistyczne dobre i, że w ciągu tych dwóch lat nie uległo

zmianie pierwotne zdanie o dobroczynnym wpływie przechowywania w wodzie na stałość prochu.

Wprawdzie wspomniany wyżej „Die chemisch - technische Reichsanstalt" na zapytanie Kierownictwa Marynarki niemieckiej w sprawie przechowywania prochów w wodzie wyraził zdanie, iż przechowywanie takie, jako normalne, nie może wchodzić w rachubę ani podczas pokoju ani podczas wojny, gdyż przed użyciem proch taki musiałby iść do fabryki dla przemycia i przesuszenia, a więc nie byłby przydatny do natychmiastowego użytku w każdej chwili. (p. Jahresbericht IV str. 88). Ale przecież łatwo byłoby obliczyć, ile czasu potrzeba na takie przemycie i wysuszenie prochu w fabryce i odpowiednio do tego podzielić zapasy wojenne: część prochu, przeznaczoną na pierwszy okres wojny, przechowywać jak obecnie, w stanie zdatnym w każdej chwili do użytku, a resztę — w wodzie. Poza tem, szczerość powyższego zdania Reichsanstalt'u również nie jest zupełnie pewna.

Sądząc z krótkich wzmianek, podanych w amerykańskiej fachowej literaturze, szczególnie w ostatnim numerze „Army Ordnance" (Nr. 52), o właściwościach prochów małopłomiennych i niehygroskopijnych FNH (flashless non hygroscopic), produkcję których rozpoczęto w Stanach Zjedn. po wojnie światowej, wprowadzenie prochów tego typu również ogromnie ułatwiłoby sprawę przechowywania zapasów wojennych. W Stanach Zjedn., jak podaje mjr. T. J. Smith Szef Wydz. Amunicji Dep. Uzbrojenia amerykańskiej armji, prochy typu FNH już przyjęto jako normalne w pewnych rodzajach amunicji, między innemi w amunicji 75 mm a. p. wz. 1897. Wobec tego, że amerykańska armja bynajmniej nie jest pochopna do wprowadzenia nowych wzorów materjału uzbrojenia bez uprzedniego bardzo szczegółowego i wszechstronnego wypróbowania ich, należy przypuszczać, że prochy typu FNH rzeczywiście okażą się praktyczne i zastąpią prochy nitrocelulozowe dotychczasowe. Sprawa zatapiania prochów w wodzie stałaby się wtedy prawdopodobnie mniej aktualną, albo i zupełnie nieaktualną.